



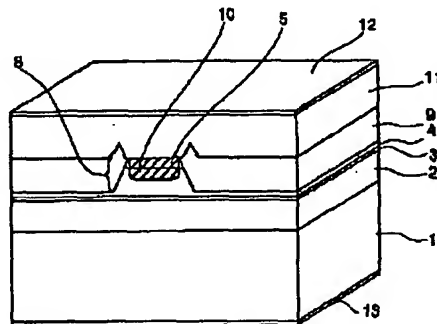
PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07162086 A**(43) Date of publication of application: **23 . 06 . 95**(51) Int. Cl **H01S 3/18**(21) Application number: **05309600**(71) Applicant: **MITSUBISHI ELECTRIC CORP**(22) Date of filing: **10 . 12 . 93**(72) Inventor: **NAGAI YUTAKA**(54) **MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR LASER** COPYRIGHT: (C)1995,JPO

(57) Abstract

PURPOSE: To obtain both a semiconductor laser having excellent element characteristics in the case of high frequency superposition, and a semiconductor laser having a window structure which can operate at a high optical output.

CONSTITUTION: A ridge mask is formed of a film turning to an impurity diffusion source. Impurities are diffused from an impurity diffusion source film to the middle part between a P-contact layer 5 and a P-clad layer 4 by the heat at the time of growing a current blocking layer. The carrier concentration of the P-clad layer 4 is effectively increased, and the element resistance is decreased. Diffusion reaches a quantum well structure active layer 3, and the quantum well structure is disordered, so that a window structure is formed. Since the element resistance is reduced, characteristics in the case of high frequency superposition are improved. By diffusion, the quantum well structure active layer is disordered, and a window structure is formed, so that a window structure semiconductor laser capable of high output operation can be obtained.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-162086

(43)公開日 平成7年(1995)6月23日

(51)Int.Cl.⁴

H 0 1 S 3/18

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数57 O L (全 37 頁)

(21)出願番号 特願平5-309600

(22)出願日 平成5年(1993)12月10日

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 永井 豊

兵庫県伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機

株式会社光・マイクロ波デバイス開発研究
所内

(74)代理人 弁理士 早瀬 憲一

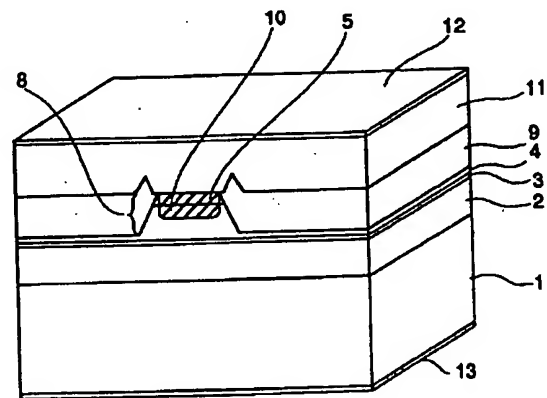
(54)【発明の名称】 半導体レーザの製造方法

(57)【要約】

【目的】 高周波重畳時も良好な素子特性を有する半導体レーザを得る。また、高光出力で動作可能である窓構造を有する半導体レーザを得る。

【構成】 埋め込み半導体レーザにおいて、リッジマスクが不純物拡散源となる膜16aで構成され、電流ブロック層成長時の熱により該不純物拡散源膜16aからp-コンタクト層5とp-クラッド層4の途中まで不純物が拡散し、p-クラッド層4のキャリア濃度が実効的に増加し素子抵抗が下がる。また、量子井戸構造活性層3まで拡散が達し該量子井戸構造がディスオーダーされることにより窓構造が形成される。

【効果】 素子抵抗が低減する結果、高周波重畳時の特性が改善される。また、該拡散により量子井戸構造活性層がディスオーダーされて窓構造が形成され、高出力動作可能な窓構造半導体レーザが得られる。



- 1: n-GaAs半導体基板
- 2: n-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層
- 3: In_{0.5}Ga_{0.5}P活性層
- 4: p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層
- 5: p-GaAs第1コンタクト層
- 8: リッジ領域
- 9: n-GaAs電流ブロック層
- 10: 不純物拡散領域
- 11: p-GaAs第2コンタクト層
- 12: p-電極
- 13: n-電極

(2)

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 リッジ埋め込み型半導体レーザを製造する方法において、

半導体基板上に、第 1 導電型下クラッド層、活性層、及び第 2 導電型上クラッド層を少なくとも含む半導体結晶層を成長する工程と、

上記半導体結晶層上の、後で形成されるリッジ部の頂部となるストライプ状の領域に、それから上記上クラッド層中に拡散したときに、第 2 導電型のドーパントとして機能する原子を含むストライプ状のパターンをもつ不純物拡散源膜を形成する工程と、

上記半導体結晶層を、上記不純物拡散源膜を含むリッジエッチングマスクを用いて、上記第 2 導電型上クラッド層がストライプ状のリッジ部を有する形状にリッジエッチングする工程と、

リッジ部の両側部に該リッジ部を埋め込むように第 1 導電型の電流ブロック層を埋め込み成長する工程と、熱処理により上記ストライプ状パターンになる不純物拡散源膜から上記第 2 導電型のドーピングとして機能する原子を上記上クラッド層中に拡散させ、上記リッジ部の第 2 導電型上クラッド層中に第 2 導電型不純物を含む高濃度層を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記不純物拡散源膜は、それからその構成材料の原子が上記第 2 導電型上クラッド層中に拡散したとき、該原子が第 2 導電型のドーパントとして機能するような材料からなる不純物拡散源膜であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記不純物拡散源膜は、ZnO、CdO、MgO のいずれかからなることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 4】 請求項 1 に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記不純物拡散源膜は、該膜中の不純物がそれからその下の上記第 2 導電型上クラッド層中に不純物が拡散したとき、該不純物が第 2 導電型のドーパントとして機能するような不純物を含む不純物拡散源膜であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記不純物拡散源膜への不純物のドーピング量を制御することにより、該膜下の層へ拡散する不純物の濃度を制御するようにしたことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

2

【請求項 6】 請求項 5 に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記不純物拡散源膜は、Zn、Cd、Mg がドーピングされた Al₂O₃、SiO₂、Si₃N₄、SrO、あるいは Si がドーピングされた Al₂O₃ のいずれかであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 7】 請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、

上記ストライプ状のリッジ部は、上記第 2 導電型上クラッド層上にさらに第 2 導電型第 1 コンタクト層を含むものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 8】 請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、

上記不純物拡散源膜のみを、上記リッジエッチングマスクとしたことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 9】 請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、

上記リッジエッチングマスクは、上記不純物拡散源膜の上にさらに後の電流ブロック層成長時の選択成長マスクとなる膜を形成したものであり、

上記リッジエッチング後、上記その上に第 2 導電型第 2 コンタクト層を成長する工程の前に、上記選択成長マスクとなる膜、及び上記不純物拡散源膜を除去することを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 10】 請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、

上記熱処理による拡散は、上記第 1 導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱によるものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 11】 請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、

上記第 1 導電型の電流ブロック層を埋め込み成長した後、上記リッジ部、及びその側部に埋め込み成長された第 1 導電型の電流ブロック層の上の全面に、第 2 導電型第 2 コンタクト層を成長する工程を含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 12】 請求項 11 に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記熱処理による拡散は、上記第 1 導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱と、上記第 2 コンタクト層の結晶成長時の熱とにより行われることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 13】 請求項 11 に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記熱処理による拡散は、上記第 1 導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱と、上記第 2 コンタクト層の結晶成長時の熱とにより行われ、さらに全結晶成長後のアニールにより行われることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 14】 請求項 13 に記載の半導体レーザの製

(3)

3

造方法において、

上記不純物拡散源膜からの上記上クラッド層への不純物の拡散が、上記電流ブロック層の結晶成長時の熱、及び上記全面コンタクト層の結晶成長の熱によりどのくらい行われたかを、上記全ての結晶成長が終わった後に該ウエハの一部の断面から観察し、その拡散の不十分な量だけさらにアニールを行うことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項15】 請求項8ないし14のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、

上記半導体基板はn型GaAs基板、上記第1導電型下クラッド層はn-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P下クラッド層、上記活性層はIn_{0.5}Ga_{0.5}P活性層、上記第2導電型上クラッド層はp-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P上クラッド層、上記第2導電型第1コンタクト層はp-GaAs第1コンタクト層、上記第2導電型コンタクト層はp-GaAs第2コンタクト層であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項16】 請求項8ないし15に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記活性層は、複数のGa_{0.5}In_{0.5}P量子井戸層と、(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P量子バリア層とを有する多重量子井戸構造よりなるものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項17】 請求項8ないし15に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記活性層は、In_{0.5}Ga_{0.5}P自然超格子よりなるものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項18】 リッジ埋め込み型半導体レーザを製造する方法において、

半導体基板上に、第1導電型下クラッド層、量子井戸構造の活性層、及び第2導電型上クラッド層を少なくとも含む半導体結晶層を成長する工程と、

上記半導体結晶層上の、後で形成されるリッジ部の頂部となるストライプ状の領域のうち窓構造を形成すべき位置に、それから上記上クラッド層中に拡散したときに第2導電型のドーパントとして機能する原子を含むストライプ状のパターンをもつ第2の不純物拡散源膜を形成する工程と、

上記半導体結晶層を、上記第2の不純物拡散源膜をその一部に含み上記ストライプ状領域にそって形成されたリッジエッチングマスクを用いて、上記第2導電型上クラッド層がストライプ状のリッジ部を有する形状にリッジエッチングする工程と、

リッジ部の両側部に該リッジ部を埋め込むように第1導電型の電流ブロック層を埋め込み成長する工程と、熱処理により上記リッジストライプ領域のうちの窓構造形成領域に形成された第2の不純物拡散源膜から上記第2導電型のドーピングとして機能する原子を、上記上クラッド層を経て上記量子井戸構造の活性層に達するまで

4

拡散させ、該活性層中で拡散された領域において上記活性層の量子井戸構造のディスオーダーを生じせしめて、窓構造を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項19】 請求項18に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記不純物拡散源膜は、それからその構成材料の原子が上記第2導電型上クラッド層中に拡散したとき、該原子が第2導電型のドーパントとして機能するような材料からなる不純物拡散源膜であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項20】 請求項19に記載の半導体レーザの製造方法において、

法において、上記不純物拡散源膜は、ZnO、CdO、MgOのいずれかからなることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項21】 請求項18に記載の半導体レーザの製造方法において、

20 上記不純物拡散源膜は、該膜中の不純物がそれからその下の上記第1コンタクト層中に不純物が拡散したとき、該不純物が第2導電型のドーパントとして機能するような不純物を含む不純物拡散源膜であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項22】 請求項21に記載の半導体レーザの製造方法において、

30 上記不純物拡散源膜への不純物のドーピング量を制御することにより、該膜下の層へ拡散する不純物の濃度を制御するようにしたことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項23】 請求項20または21に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記不純物拡散源膜は、Zn、Cd、MgがドーピングされたAl₂O₃、SiO₂、Si₃N₄、SrO、あるいはSiがドーピングされたAl₂O₃のいずれかであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項24】 請求項18ないし23のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、

40 上記ストライプ状のリッジ部は、上記上クラッド層上にさらに第2導電型第1コンタクト層を含むものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項25】 請求項18ないし24のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、

上記リッジエッチングマスクとして、上記第2の不純物拡散源膜をその一部にて覆って後の電流ブロック層成長時の選択成長マスクとなる膜を形成し、

50 上記リッジエッチング後、上記その上に第2導電型第2コンタクト層を成長する工程の前に、上記選択成長マスクとなる膜、及び上記不純物拡散源膜を除去することを特徴とする半導体レーザの製造方法。

(4)

5

【請求項26】 請求項18ないし25のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、
上記熱処理による拡散は、上記第1導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱によるものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項27】 請求項18ないし26のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、
上記第1導電型の電流ブロック層を埋め込み成長した後、上記リッジ部、及びその側部に埋め込み成長された第1導電型の電流ブロック層の上の全面に、第2導電型第2コンタクト層を成長する工程を含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項28】 請求項27に記載の半導体レーザの製造方法において、
上記熱処理による拡散は、上記第1導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱と、上記第2コンタクト層の結晶成長時の熱とにより行われることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項29】 請求項27に記載の半導体レーザの製造方法において、
上記熱処理による拡散は、上記第1導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱と、上記第2コンタクト層の結晶成長時の熱とにより行われ、さらに全結晶成長後のアニールにより行われることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項30】 請求項29に記載の半導体レーザの製造方法において、
上記不純物拡散源膜からの上記上クラッド層への不純物の拡散が、上記電流ブロック層の結晶成長時の熱、及び上記全面コンタクト層の結晶成長の熱によりどのくらい行われたかを、上記全ての結晶成長が終わった後に該ウエハの一部の断面から観察し、その拡散の不十分な量だけさらにアニールを行うことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項31】 請求項24ないし30のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、
上記半導体基板はn型GaAs基板、上記第1導電型下クラッド層はn-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P下クラッド層、上記活性層はIn_{0.5}Ga_{0.5}P量子井戸構造活性層、上記第2導電型上クラッド層はp-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P上クラッド層、上記第2導電型第1コンタクト層はp-GaAs第1コンタクト層、上記第2導電型コンタクト層はp-GaAs第2コンタクト層であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項32】 請求項24ないし31に記載の半導体レーザの製造方法において、
上記活性層は、複数のGa_{0.5}In_{0.5}P量子井戸層と、(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P量子バリア層とを有する多重量子井戸構造よりなるものであることを

6

特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項33】 請求項24ないし31に記載の半導体レーザの製造方法において、
上記活性層は、In_{0.5}Ga_{0.5}P自然超格子よりなるものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項34】 請求項18ないし33に記載の半導体レーザの製造方法において、
上記第2の不純物拡散源膜をパターンニングする方法は、結晶成長したウエハ上の全面に第2の不純物拡散源膜の材料となる膜を形成したのち、これをレーザの窓領域に相当する領域にそったストライプ状にパターンニングする工程と、
その上にリッジエッチングマスクをレーザのリッジ形成領域にそったストライプ状にパターンニング形成する工程と、

上記リッジエッチングマスクをマスクとして、上記レーザの窓領域形成領域にそった上記ストライプ状の第2の不純物拡散源膜の露出部をエッチング除去し、各4角形状の2つの不純物拡散源膜を形成する工程とからなるものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項35】 請求項18ないし34のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、

上記第2の不純物拡散源膜をパターンニングする方法は、結晶成長したウエハ上の全面に第2の不純物拡散源膜の材料となる膜を形成したのち、これをレーザの窓領域に相当する領域にそったストライプ状にパターンニングする工程と、

そののちリッジエッチングマスクの材料からなるマスクを全面に形成する工程と、

上記窓構造形成領域にそったストライプ状の第2の不純物拡散源膜、及びこれをその上から覆う上記リッジエッチングマスクとなる材料からなる全面のマスクを、レーザのリッジ形成領域にそったストライプ状にパターンニングする工程とからなるものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項36】 リッジ埋め込み型半導体レーザを製造する方法において、

半導体基板上に、第1導電型下クラッド層、量子井戸構造の活性層、及び第2導電型上クラッド層を少なくとも含む半導体結晶層を成長する工程と、

上記半導体結晶層上の、後で形成されるリッジ部の頂部となるストライプ状の領域のうち窓構造を形成すべき位置に、それから上記クラッド層中に拡散したときに第2導電型のドーパントとして機能する原子を含む第2の不純物拡散源膜を、上記半導体結晶層上の、後で形成されるリッジ部の頂部となるストライプ状の領域に、それから上記クラッド層中に拡散したときに第2導電型のドーパントとして機能する原子を含む第1の不純物拡散源膜を含む、不純物拡散源膜パターンを、上記ストライプ状のリッジ形成領域上に形成する工程と、

(5)

7

上記半導体結晶層を、上記不純物拡散源膜を含む上記ストライプ状領域にそって形成されたリッジエッチングマスクを用いて、上記第2導電型上クラッド層がストライプ状のリッジ部を有する形状にリッジエッチングする工程と、

リッジ部の両側部に該リッジ部を埋め込むように第1導電型の電流ブロック層を埋め込み成長する工程と、熱処理により上記リッジストライプ領域のうちの窓構造形成領域に形成された第2の不純物拡散源膜から上記第2導電型のドーピングとして機能する原子を、上記上クラッド層を経て上記量子井戸構造の活性層に達するまで拡散させ、該活性層中で拡散された領域において上記活性層の量子井戸構造のディスオーダーを生じせしめて窓構造を形成するとともに、上記第1の不純物拡散源膜から上記第2導電型のドーピングとして機能する原子を上記上クラッド層中に拡散させ、上記リッジ部の第2導電型上クラッド層中に第2導電型不純物を含む高濃度層を形成する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項37】 請求項36記載の半導体レーザの製造方法において、

上記第1、及び第2の不純物拡散源膜を形成する工程は、

上記窓部を形成すべき領域に当たる位置を除く上記リッジストライプ領域上の位置に、拡散量を減少させる拡散スルー膜を形成し、その後上記リッジストライプ領域上の全体に、不純物拡散源膜を所要の厚さに形成するものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項38】 請求項37記載の半導体レーザの製造方法において、

上記拡散スルー膜はプラズマCVD法により形成し、上記不純物拡散源膜はスパッタ法により形成し、上記選択成長マスクは、熱CVD法により形成するものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項39】 請求項38記載の半導体レーザの製造方法において、

上記第1、及び第2の不純物拡散源膜を形成する工程は、上記リッジストライプ領域上の窓部を形成すべき領域に第2の不純物拡散源膜を形成し、その後、上記リッジストライプ領域上の全体に第1の不純物拡散源膜を所要の厚さだけ形成するものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項40】 請求項39記載の半導体レーザの製造方法において、

上記第1、及び第2の不純物拡散源膜をパターンニングする方法は、

結晶成長したウエハ上の全面に第2の不純物拡散源膜の材料となる膜を形成したのち、これをレーザの窓領域に相当する領域にそったストライプ状にパターンニングする工程と、

8

そののち第1の不純物拡散源膜となる材料からなるマスクをレーザのリッジ形成領域にそったストライプ状にパターンニング形成する工程と、

上記リッジストライプ状の第1の不純物拡散源膜材料膜をマスクとして、上記レーザの窓領域形成領域にそった上記ストライプ状の第2の不純物拡散源膜の露出部をエッチング除去する工程とからなるものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項41】 請求項39記載の半導体レーザの製造方法において、

上記第1、及び第2の不純物拡散源膜をパターンニングする方法は、

結晶成長したウエハ上の全面に第2の不純物拡散源膜の材料となる膜を形成したのち、これをレーザの窓領域に相当する領域にそったストライプ状にパターンニングする工程と、

そののち第1の不純物拡散源膜となる材料からなるマスクを全面に形成する工程と、

上記窓構造形成領域にそったストライプ状の第2の不純物拡散源膜、及びこれをその上から覆う上記第1の不純物拡散源膜となる材料からなる全面のマスクを、レーザのリッジ形成領域にそったストライプ状にパターンニングする工程とからなるものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項42】 請求項39ないし41のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、

上記不純物拡散源膜は、それからその構成材料の原子が上記第2導電型上クラッド層中に拡散したとき、該原子が第2導電型のドーパントとして機能するような材料からなる不純物拡散源膜であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項43】 請求項42に記載の半導体レーザの製造方法において、法において、

上記不純物拡散源膜は、ZnO、CdO、MgOのいずれかからなることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項44】 請求項39ないし41のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、

上記不純物拡散源膜は、該膜中の不純物がそれからその下の上記第2導電型上クラッド層中に不純物が拡散したとき、該不純物が第2導電型のドーパントとして機能するような不純物を含む不純物拡散源膜であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項45】 請求項44に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記不純物拡散源膜への不純物のドーピング量を制御することにより、該膜下の層へ拡散する不純物の濃度を制御するようにしたことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項46】 請求項44または45に記載の半導体

9

レーザの製造方法において、
上記不純物拡散源膜は、Zn, Cd, MgがドーブされたAl₂O₃, SiO₂, Si₃N₄, SrO,あるいはSiがドーブされたAl₂O₃のいずれかであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項47】 請求項39ないし46のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、
上記ストライプ状のリッジ部は、上記第2導電型上クラッド層上にさらに第2導電型第1コンタクト層を含むものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項48】 請求項40または41に記載の半導体レーザの製造方法において、
上記第1の不純物拡散源膜をパターンニングする際は、その上にリッジエッチングマスクを同時に形成することを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項49】 請求項39ないし48のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、
上記熱処理による拡散は、上記第1導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱によるものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項50】 請求項39ないし48のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、
上記第1導電型の電流ブロック層を埋め込み成長した後、上記リッジ部、及びその側部に埋め込み成長された第1導電型の電流ブロック層の上の全面に、第2導電型第2コンタクト層を成長する工程を含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項51】 請求項39ないし49のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、
上記熱処理による拡散は、上記第1導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱と、上記第2コンタクト層の結晶成長時の熱とにより行われることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項52】 請求項39ないし49のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、
上記熱処理による拡散は、上記第1導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱と、上記第2コンタクト層の結晶成長時の熱とにより行われ、さらに全結晶成長後のアニールにより行われることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項53】 請求項52に記載の半導体レーザの製造方法において、
上記不純物拡散源膜からの上記上クラッド層への不純物の拡散が、上記電流ブロック層の結晶成長時の熱、及び上記全面コンタクト層の結晶成長の熱によりどのくらい行われたかを、上記全ての結晶成長が終わった後に該ウエハの一部の断面から観察し、その拡散の不十分な量だけさらにアニールを行うことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項54】 請求項39ないし53のいずれかに記

(6)

10

載の半導体レーザの製造方法において、
上記リッジエッチングの前に、上記不純物拡散源膜の上にさらに選択成長マスクとなる膜を形成する工程と、
上記リッジエッチング後、上記その上に第2導電型第2コンタクト層を成長する工程の前に、上記選択成長マスクとなる膜、及び上記不純物拡散源膜を除去する工程とを含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項55】 請求項39ないし54のいずれかに記載の半導体レーザの製造方法において、

10 上記半導体基板はn型GaAs基板、上記第1導電型下クラッド層はn-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P下クラッド層、上記活性層はIn_{0.5}Ga_{0.5}P活性層、
上記第2導電型上クラッド層はp-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P上クラッド層、上記第2導電型第1コンタクト層はp-GaAs第1コンタクト層、上記第2導電型コンタクト層はp-GaAs第2コンタクト層であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項56】 請求項39ないし55に記載の半導体レーザの製造方法において、

20 上記活性層は、複数のGa_{0.5}In_{0.5}P量子井戸層と、(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P量子バリア層とを有する多重量子井戸構造よりなるものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項57】 請求項39ないし55に記載の半導体レーザの製造方法において、

上記活性層は、In_{0.5}Ga_{0.5}P自然超格子よりなるものであることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

30 【産業上の利用分野】この発明は、半導体レーザの製造方法に関し、特に光ディスクの光源用の、高周波重畳時でも良好な特性を有する半導体レーザを製造する方法に関するものである。また、端面部分に窓構造を有し、高光出力動作が可能な半導体レーザの構造、及びその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の“短波長InGaAlP可視光レーザダイオード”，については、文献(1)，“Short-Wavelength InGaAsP Visible Light Laser Diode”，IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS. VOL. 27, NO. 6, JUNE 1991, Gen-ichi Takahashiet.al., に報告されている。

【0003】以下、従来の短波長InGaAlP可視光レーザダイオードについて説明するため、この文献の内容を引用する。短波長InGaAlP可視光レーザダイオードの開発において大きな進歩がみられている。短波長InGaAlP可視光レーザダイオードにおいては、動作温度と発振波長との間に強い相関が見られるが、短波長領域における好ましい温度特性の劣化はリーク電流の増加をもたらす、これはInGaAlP材料系に固有

(7)

11

の小さい伝導帯不連続に起因するものである。より高くドーピングされたp型クラッド層の導入は、これらの温度特性の改善に顕著な効果を持つもので、630nmバンドの波長の短波長発振が、横モードの安定なInGaAlPレーザにおいて達成されたことが、この文献では報告されている。

【0004】I. 導入

0.6μmの波長領域で発振するInGaAlP可視光レーザダイオードは、高密度光ディスクシステム、および高速度レーザプリンタ等の光情報処理システム用の光源として多くの興味をもたれてきた。InGaAlPレーザの室温連続波(CW)動作は、670~690nmの波長帯でInGaP三元活性層に対し、1985年に初めて達成された。それ以来、横モード安定化、閾値電流の低減、高温動作、および高信頼性等のレーザ性能の改善について多くの努力がなされてきた。

【0005】これらのレーザダイオード特性の中で、高出力および短波長動作はInGaAlPレーザの実際の使用のためには重要な課題である。高出力動作は、特に光ディスクへの応用において要求される。従来のGaAlAsレーザの高出力動作を得るために以前から用いられている基本的な方法は、InGaAlP系にも適用可能である。50mWと高出力のCW動作が、薄い活性層構造とレーザ端面への反射防止および高反射コーティングを用いることによって、横モード安定化されたInGaAlPレーザについて達成された。また320mW出力パワーを持つ高出力ブロードストライブレザが報告されている。高出力InGaAlPレーザの信頼性においても顕著な改善が見られている。20mWの出力パワーを持つ横モード安定化されたInGaAlPレーザは現在商業的に利用可能である。

【0006】1990年における高出力InGaAlPレーザについての代表的な達成は窓構造レーザの実現である。窓構造を用いることにより、出力パワーは、利得ガイド型および横モード安定化構造のそれぞれを持つInGaAlPレーザについて、80および75mWに増大された。670nm以下で発振する短波長InGaAlPレーザダイオードの開発は、高密度光ディスク応用での使用、および従来のHe-Neガスレーザ(λ=633nm)に代わる必要な放射波長の小型の光源の実現のために継続されてきた。

【0007】短波長InGaAlPレーザダイオードを得るために3つの方法が研究されて来た。

【0008】1) InGaAlP4元活性層の使用

2) 量子井戸構造

3) 基板方位に対するバンドギャップエネルギーの依存性の利用

第1の方法は、発振波長を短波長化するための、かなり容易な、しかし基本的なアプローチである。

【0009】短波長InGaAlPレーザダイオードを

12

実現するにおける問題は、高温動作を得ることが難しいことである。最大動作温度は波長が減少するにつれて減少する。短波長InGaAlPの実際の使用のために温度特性の改善は不可欠である。短波長領域における温度特性の劣化は、活性層とp型クラッド層との間の小さいバンドギャップエネルギー差によるリーク電流の増加が原因であると思われる。リーク電流は大きなバンドギャップのクラッド層を用いること、または高濃度にドーピングされたp型クラッド層を用いることによって減少することができる。クラッド層のバンドギャップエネルギーはGaAs基板に格子整合したInGaAlP系物質により決定される限界を持つ。したがって、短波長InGaAlPレーザダイオードを実現するためには、高濃度にドーピングされたクラッド層を用いることが必要であることがわかっている。最近、高濃度にドーピングされたp型クラッド層を生ずる結晶成長技術が開発されている。これは、InGaAlPレーザダイオードの温度特性を有効に改善した。この改善により、室温での630nm帯のCW動作が実現された。

【0010】この論文は、InGaAlP可視光レーザダイオードの短波長動作についての我々の最近の結果をレビューしている。短波長InGaAlPレーザに使用される横モード安定化された構造が簡単に示されている。リーク電流の低減のための理論的な背景および短波長InGaAlPレーザダイオードの実験結果が記述される。

【0011】II. 横モード安定化されたInGaAlPレーザダイオードの装置構造

短波長InGaAlPレーザダイオードの実現のために、横モード安定化された構造の使用が動作電流の低減のために必要であり、また装置の実際の応用のためにも必要である。図14は、横モード安定化されたInGaAlPレーザの代表的な構成を示している。この構造は、リッジ形状のダブルヘテロストラクチャー上への選択成長を利用するn-GaAs層の成長を含み、3段階の有機金属化学気相成長(MOCVD)法により作製される。したがって、その構造は選択的に埋め込まれたリッジ導波路(SBR)レーザと呼ばれる。

【0012】SBRレーザにおける光モード閉じ込めは、ロスガイド効果を用いることによって得られ、これは接合面に沿った複素屈折率分布によって形成される。このようなリッジ型構造では、ストライプとその外の領域との間の実効屈折率差 ΔN_{eff} は出力ビームの光特性のための重要なファクターである。 ΔN_{eff} は各層の屈折率、活性層厚d、および活性層とストライプの外の領域のn-GaAs吸収層との間の距離hによって決定される。図15は、InGaAlP活性層とIn_{0.5}(Ga_{0.3}Al_{0.7})_{0.5}Pクラッド層の場合のdとhの関数としての ΔN_{eff} の計算例を示している。 ΔN_{eff} の安定な基本モード発振および低アステイグマチズム特性

13

を実現するための好ましい値は約 10^{-2} である。パラメータ d および h はこの要件を満足するよう最適化されるべきである。

【0013】図16は、横モード安定化InGaAlPレーザの他の構造を示している。このレーザでは、電流閉じ込めがp-InGaAlPクラッド層とp-GaAsコンタクト層との間の大きなバンド不連続によるヘテロバリアを利用して実現されている。このレーザは、ヘテロバリアブロッキング(HBB)レーザと呼ばれる。HBBレーザの電流閉じ込め機構の原理は図17に示される。図17および後に示される他の図のための計算において使用される材料パラメータは図26にリストされている。InGaAlP材料の特徴的な性質はInGaAlPとGaAsとの間の価電子帯不連続 ΔE_v が大変大きいことである。このバンド不連続はp-InGaAlPとp-GaAsとの界面での価電子帯のプロファイルにおいてホールのキャリアに対しバリアとして働く大きなスパイクを生ずる原因となる。p-InGaAlPのAl組成比がかなり大きいとき、電流は図17(a)に示されるように、p-InGaAlPとp-GaAsとの界面には流れない。逆に価電子帯のスパイクはInGaAlPとGaAsとの間の中間のバンドギャップエネルギーを持つp-InGaP層を導入することによって低減される。したがって、HBBレーザのストライプ領域の形状に相当する図17(b)に示される構造において容易に流れる。

【0014】SBRおよびHBBレーザの光学特性はほとんど同じであり、これは光閉じ込め機構が本質的に同じであるからである。作製プロセスに関しては、HBBレーザは単に2段階のMOCVD成長プロセスを要求するのでSBRレーザより成長するのが容易である。これらの図14および図16に示された横モード安定化された構造は、短波長InGaAlPレーザの製造に使用される。これらのレーザの特性は後に示される。

【0015】III. 短波長動作のための理論的な背景
InGaAlPレーザダイオードの発振波長を短波長化における困難性は活性層からp型クラッド層への電子リークによるものである。図18は発振閾値でのInGaAlPダブルヘテロ構造レーザの概略的なバンドダイヤグラムを示している。InGaAlPダブルヘテロ構造においては、活性層とクラッド層との間の伝導帯不連続とバンドギャップ差はそれほど大きくない。例えば、直接遷移領域の範囲において最も大きいバンドギャップ差を持つInGaP-In_{0.5}(Ga_{0.3}Al_{0.7})0.5 Pダブルヘテロ構造の伝導帯不連続の値は0.19 eVである。この伝導帯ヘテロバリアの小さい値のために注入された電流の一部は活性層からp型クラッド層へ、図18に示されるようにオーバーフローする。

【0016】電子のオーバーフローの効果は高温動作においてより大きな範囲に見られ、これはバリア高さ δp

(8)

14

(図18参照)がより高い温度での高い注入電流に起因する活性層での準フェルミレベル ϕ_n の増加により減少するからである。図19はInGaP-In_{0.5}(Ga_{0.3}Al_{0.7})0.5 Pダブルヘテロ構造の閾値電流密度の温度依存性の計算例を示している。トータル閾値電流 J_{th} は活性層への総注入電流 $J_{th}(\text{net})$ および漏れ電流 J_L の和によって表わされる。総注入電流密度は200 Kの特性温度をもつ温度依存性を示している。室温での見たところの特性温度は、リーク電流の存在によりこの値より低い。このリーク電流のほとんどは電子のオーバーフロー電流によるものであり、これは活性層とp型クラッド層との間の伝導帯でのヘテロバリアを超えて流れる。

【0017】電子のオーバーフローはより短波長のレーザダイオードにとってはますます困難なものとなっている。これは、活性層とクラッド層との間のバンドギャップエネルギー差の減少に起因するヘテロバリア高さの減少をもたらすものである。したがって、短波長領域において高温動作を実現することは困難である。

【0018】電子のオーバーフローは活性層の伝導帯の準フェルミレベルとp型クラッド層の伝導帯の底との間のバリア高さを増加することによって減少することができる。図18に示されるように、バリア高さ δp は活性層とp型クラッド層との間のバンドギャップエネルギー差とp型クラッド層のフェルミレベル E_{fp} とによって決定される。そのフェルミレベル E_{fp} は、クラッド層におけるホールの濃度によって決定される。したがって、 δp は大きなバンドギャップの、または高濃度にドーパされたクラッド層のいずれかをを用いることによって増大することができる。

【0019】図20は閾値電流密度の活性層バンドギャップの関数としての数値計算結果を示している。短波長領域での閾値電流の急激な増加は電子のオーバーフローによるものである。ホールの濃度 $4 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ をもつIn_{0.5}(Ga_{0.3}Al_{0.7})0.5 Pクラッド層をもつレーザダイオードの実験データは図20に示される対応するカーブと同様の傾向を示した。しかしながら、計算結果によって示されるものよりも長い波長領域にわたって閾値電流の増加が生じた。この差は活性層についての非放射再結合ライフタイムがInGaPのそれと等しく、Al組成比とは独立したものであると仮定した計算における仮定にその原因があると考えられる。

【0020】図20に示されるように、より短波長の領域の装置では、閾値電流は高いAl組成比をもち、大きいバンドギャップエネルギーと高いホールの濃度とをもつp型クラッド層を用いることによって低減することができる。InAlP($x=1$)のバンドギャップは非直接であり、伝導帯のオフセットはIn_{0.5}(Ga_{0.3}Al_{0.7})0.5 Pのそれより小さいが、それは電子のオーバーフローを低減する効果をもつ。これは、図18のバ

15

ヤ高さ δp は主に $E_{g\text{clad}}$ および E_{fp} によって決定されるからである。

【0021】IV. 実験結果

上記で示したように、p型クラッド層のより高いAl組成比と、より高いホール濃度は短波長InGaAlPレーザダイオードの開発のために好ましい。しかしながら、高濃度にドーピングされたp型クラッド層を得ることは特に高いAl組成比のInGaAlPについては困難である。したがって、クラッド層の最適なAl組成比を選択する必要がある。実験では、0.7のAl組成比（ここではInGaAlPは最大の直接バンドギャップをもつ）、が選択された。Znp型ドーピングの場合には、制限的要因が存在する。すなわち、高濃度ではドーピングは活性層へのZnの拡散を生じ、これは装置特性の劣化を生ずる。活性層へのZnの拡散を生じない最大のドーピングレベルは、成長条件、例えば、成長温度に依存する。Znドーピングの特性は、InGaAlPダブルヘテロストラクチャーについて詳細に調査された。この活性層への拡散は、最適な成長条件のもとで、 $6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下のアクセプタ濃度レベルでは起きないことが見出された。このような高いドーピングされたp型クラッド層の使用は、短波長InGaAlPレーザダイオードの温度特性を有効に改善した。この改善により、高温短波長発振装置がInGaAlP4元活性層を用いたレーザについて得られた。

【0022】図21は、InGaAlPレーザの連続波動作での発振波長と最大温度との間の関係を示す実験結果を示している。図に示されるように、最大動作温度 T_{max} と波長 λ との間には強い相関がある。波長が短いほど、可能な動作温度はより低くなる。これは、上記したように、電子のオーバーフローが原因していると考えられる。高くドーピングされたp型クラッド層の効果は、図20に予言されているが、実験によってもまた確認された。図21に示されるように、アクセプタ濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のときには、 T_{max} について顕著な改善が見られた。

【0023】高濃度にドーピングされたp型クラッド層（ $p = 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）を用いることによって、最大CW温度が図21に示されるように650nmの発振波長をもつレーザについて70℃にまで増加された。図22はアクセプタ濃度に対しプロットされた650nmの波長のSBRレーザの特性温度を示している。より高い特性温度がより高いアクセプタ濃度を使用することによって得られた。図23は、ヒートシンク温度50℃でのコートされていない650nmのレーザについてのエージングテストの結果の例を示している。そのレーザは1000時間以上動作した。630nm帯のInGaAlPレーザを実現するために、活性層のAl組成比は0.15にセットされた。この4元活性層およびIn0.5（Ga0.3Al0.7）0.5Pクラッド層をもつSBR構造が作製

(9)

16

された。図24は、この630nm帯のSBRレーザの光出力対電流特性を示している。638nmの波長での室温CW動作が達成された。25℃での閾値電流は100mAであり、スロープ効率は0.35W/A/端面であった。連続波動作は50℃でも維持された。この動作温度の改善はpクラッド層のための高濃度ドーピング技術によってもたらされたリーク電流の低減の効果であると考えられる。

【0024】短波長動作はまた、HBB構造を使用することによっても達成された。図25は、630nm帯のHBBレーザの光出力対電流特性を示している。636.1nmの波長での単一縦モード発振が得られた。接合面に平行および垂直な方向でのビーム広がり角はそれぞれ8.5°および39°であった。以上、上記文献(1)を引用して従来の短波長InGaAlP可視光レーザダイオードについて説明したが、次に、従来の0.67μm帯のInGaP/InAlGaP系半導体レーザの具体的な構成の一例、及びその作用、動作について説明する。

【0025】図11は、上記文献(1)に記載されたものと同等の従来の0.67μm帯のInGaP/InAlGaP系の半導体レーザの概観図を示し、図12は該半導体レーザの製造工程を示す断面図である。図11において、1はn-GaAs半導体基板（不純物濃度は $1 \sim 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚みは95μm）である。該n-GaAs半導体基板1上には、n-(Al0.7Ga0.3)0.5In0.5Pクラッド層2（不純物濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、膜厚は1.5μm）が配置される。該n-(Al0.7Ga0.3)0.5In0.5Pクラッド層2上には、アンドーピングのIn0.5Ga0.5P活性層3（膜厚は0.07μm）が配置される。該In0.5Ga0.5P活性層3上には、p-(Al0.7Ga0.3)0.5In0.5P上クラッド層4（不純物濃度は 5×10^{17} 、不純物はZn又はSi、膜厚は0.25μm）が配置される。該p-(Al0.7Ga0.3)0.5In0.5Pクラッド層4のリッジ部（リッジ底部の幅は5.5μm、リッジ上部の幅は3.0μm）4a上の部分には、p-GaAs第1コンタクト層5（不純物濃度は $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、膜厚は0.4μm）が配置される。該p-(Al0.7Ga0.3)0.5In0.5Pクラッド層4の薄膜部4b上には、n-GaAs電流ブロック層9（不純物濃度は $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、膜厚は1μm）が配置される。上記p-GaAs第1コンタクト層5上、及び上記n-GaAs電流ブロック層9上には、p-GaAs第2コンタクト層11（不純物濃度は $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、膜厚は2.5μm）が配置される。また、上記p-GaAs第2コンタクト層11上には、Ti/Pt/Auよりなるp側電極12が配置され、p-GaAs半導体基板1側には、AuGe/Ni/Ti/Auよりなるn側電極13が配置される。本レーザの電極を除いた部分の高さは100μmで

(10)

17

ある。

【0026】また、図12において、16は上記p-GaAs第1コンタクト層5上に形成されたSiO₂又はSi₃N₄よりなる選択成長マスク、16aは該選択成長マスク16がパターニングされたストライプ状の選択成長マスク膜、8は該パターニングされたストライプ状の選択成長マスク16aをマスクにしてエッチングして形成された、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4とp-GaAs第1コンタクト層5とからなるリッジ領域である。

【0027】次に、本従来例の半導体レーザの製造方法を図12を参照して説明する。まず、n-GaAs半導体基板1上に、n-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層2、In_{0.5}Ga_{0.5}P活性層3、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4、p-GaAs第1コンタクト層5の各層を、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法により、750°Cの成長温度でエピタキシャル結晶成長する。成長後のウエハの断面図を図12(a)に示す。

【0028】次にSiO₂又はSi₃N₄よりなる選択成長マスク16を、図12(c)に示すようなストライプ状の膜16aにパターニングする。ストライプの幅は5~15μmが適当である。この選択成長マスク16aはリッジエッチングのマスクとしても機能する。すなわち、図12(d)に示すように、この選択成長マスク16aをマスクとしてリッジ8ができるようエッチングを行う。このエッチングでは、p-GaAs第1コンタクト層5と、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4の途中(その層厚を0.3μm残す)までエッチングを行ってリッジ8を形成する。エッチング後の断面図を図12(d)に示す。

【0029】次に図12(e)に示すように、再結晶成長を行い、リッジ部分8以外の箇所をn-GaAs電流ブロック層9(不純物濃度は $6 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、膜厚は1μm)で埋め込む。このときリッジ部分8では、選択成長マスク16aが形成されているため、この上には結晶成長は行われない。この結晶成長時には、ウエハは500°C以上(550°C等)にて約30分間加熱される。

【0030】次に図12(f)に示すように、ウエットあるいはドライエッチングにより選択成長マスク16aを除去した後、上記リッジ8上、及びn-GaAs電流ブロック層9上に、p-GaAs第2コンタクト層11をさらに結晶成長する。あるいは、場合によっては、図12(e)の状態の後、上記リッジエッチングマスク16aを剥がして図12(g)に示す状態とし、この状態で再度、ZnO等からなる不純物拡散源膜7を上記リッジ部分8上に形成し、この状態で熱処理を行って、上記不純物拡散源膜7中のp型不純物を上記第1コンタクト層5、及びp型上クラッド層4中に拡散してp型拡散領域10を形成し、その後、不純物拡散源膜7を除去し、図

18

12(h)に示すように、ウエハ全面に第2コンタクト層11を結晶成長する。

【0031】その後、n-GaAs半導体基板1側にAuGe/Ni/Ti/Auよりなるn側電極13を、p-GaAs第2コンタクト層11側にTi/Pt/Auよりなるp側電極12を、抵抗加熱による蒸着、あるいはEB(電子ビーム)蒸着、あるいはスパッタによって形成することにより、あるいは上記図12(g)の工程の後、上記のような電極形成を行うことにより、図11に示すような従来例の半導体レーザを完成する。

【0032】以下、本従来例の作用、動作について説明する。まず、図11に示した従来の0.67μm帯の半導体レーザの動作を以下に説明する。p側電極12側に正、n側電極13側に負となるように電圧を印加すると、正孔(ホール)は、p-GaAs第2コンタクト層11、p-GaAs第1コンタクト層5、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4を経て、In_{0.5}Ga_{0.5}P活性層3へ、また電子は、n-GaAs半導体基板1、n-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層2を経て、In_{0.5}Ga_{0.5}P活性層3にそれぞれ注入され、上記ホールと電子の再結合が発生し、活性層3内で誘導放出光が生じる。そして、キャリアの注入量を十分高くして、活性層3よりなる導波路においてその損失を越える光が発生するようにすれば、レーザ発振が生じることとなる。

【0033】次に、リッジ構造について説明する。図11のp-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4とp-GaAs第1コンタクト層5とからなるリッジ領域8を有するリッジ構造では、該ストライプ状のリッジ領域8部分以外のn-GaAs電流ブロック層9に覆われている領域では、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4、及びp-GaAs第2コンタクト層11と、上記n-GaAs電流ブロック層9、との間でそれぞれpn結合が形成されており、このため、p-電極12側を正となるよう電圧を印加しても、リッジ領域8以外では、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4とp-GaAs第2コンタクト層11との間が、pnp構造となり、逆バイアスとなるため、電流は流れない。つまり、n-GaAs電流ブロック層9は文字通り電流をブロック、即ち阻止する機能を果たす。よって、電流はリッジ領域8のみを流れるため、リッジに近接する活性層3の領域のみに電流は集中し、これによりレーザ発振するのに十分な電流密度に達し、レーザ発振が起こることとなる。

【0034】また、n-GaAs電流ブロック層9は、活性層3で発したレーザ光を吸収する性質があり、これは、GaAsのバンドギャップエネルギーが、活性層3を構成しているIn_{0.5}Ga_{0.5}Pのバンドギャップエネルギーより小さいからである。このため、リッジ領域8の両脇ではレーザ光は強い吸収を受けることとなるため、

レーザ光もリッジ領域8の近傍のみに集中することとなる。この結果、半導体レーザの動作特性の中で重要な特性の一つである水平横モードも安定に単峰の形状となることとなる。

【0035】以上に引用した文献(1)の内容からも判るように、InGaAlP系材料を用いて構成された半導体レーザでは、そのp型クラッド層の不純物濃度を高くすることによって、レーザ特性が向上するが、通常のドーピング技術を用いた場合、InGaAlPクラッド層のp型不純物濃度を高くすることは困難であり、本文

献においては、p型クラッド層のp型不純物濃度を向上するための効果的な方法は特に開示されていない。

【0036】また、一般にコンパクトディスク(CD)等の光ディスク装置の光源として用いられる0.8 μ m帯、あるいは0.67 μ m帯のレーザ光を発するAlGaAs系、あるいはInGaP/InAlGaP系の半導体レーザにおいては、その最大光出力は端面破壊が発生する光出力で決定される。この端面破壊は、レーザ光が端面領域の表面単位に光吸収されることによって発生するものである。よって、高光出力動作を実現するためには、より高い光出力でも端面破壊が生じないようにする工夫が必要である。このためには端面領域でレーザ光を吸収しにくくする構造、つまりレーザ光に対して“透明”となるような窓構造を設けることが非常に有効である。

【0037】以下この半導体レーザにおける端面破壊を防止するための窓構造について説明する。半導体レーザの高出力動作時に生じる光学損傷(Catastrophic Optical Damage: COD)は、レーザの端面近傍に存在する界面単位により、同一組成の活性層でも、中央部に比べ、端面部のバンドギャップが小さくなっていることに起因して生じる。すなわち、レーザの高出力動作時に端面近傍におけるレーザ光の吸収により、端面で局所的に温度が上昇する。この局所的な過剰発熱は、その部分のバンドギャップをさらに小さくするため、これによりレーザ光の吸収が促進されさらに発熱が増加することとなるというループを生じ、ついには、レーザ端面が熔融し、非可逆的な破壊が生じる。このように端面破壊が生じるときのレーザ光出力をCOD光出力と呼び、このCOD光出力が、AlGaAs系やAlGaInP系の材料で構成される半導体レーザの最大光出力を制限している。

【0038】上述のような端面破壊を防ぐには、界面単位が生じ得る領域の活性層のバンドギャップを、それ以外の領域の活性層のバンドギャップと比べ大きくすれば良い。例えば、90年春の応物学会(予稿集29a-S A-7)においては、レーザ端面近傍の活性層の禁制帯幅をレーザ中央部の活性層の禁制帯幅よりも高エネルギー化した窓構造によって、AlGaInP系の半導体レーザのCOD光出力を大幅に高め、高出力化を可能とした

ものが開示されている。

【0039】GaInPやAlGaInP結晶材料の特有の現象として、これを所定の成長条件で結晶成長させた場合に、その構成原子が周期的に配列された、いわゆる自然超格子が形成されることが知られている。また、この自然超格子構造の結晶中にZn等の不純物を導入して超格子構造を無秩序化すると、無秩序化された領域の禁制帯幅は無秩序化されていない領域の禁制帯幅よりも大きくなることが知られている。上記文献では、GaInP又はAlGaInPからなる活性層を、上記自然超格子が形成される条件で成長した後、レーザ端面近傍に不純物導入を行ない、窓構造を形成している。

【0040】図27は、上述した、自然超格子の無秩序化を利用して作製された、従来の窓構造付きAlGaInP系半導体レーザの共振器長方向に沿った断面を示す模式図である。図において、101はn型GaAs基板、102は基板101上に配置されたn型AlGaInP下クラッド層、103は下クラッド層102上に配置された自然超格子構造のGaInP量子井戸(Quantum Well: QW)活性層、104は活性層103上に配置されたp型AlGaInP上クラッド層、105は上クラッド層104上に配置されたp型GaAsコンタクト層である。また、106はn側電極、107はp側電極である。108はレーザ端面近傍に形成されたZn拡散領域であり、109は活性層103のうちZn拡散により自然超格子が無秩序化(ディスオーダーリング)された領域である。120は出射レーザ光である。

【0041】図29は図27に示す窓構造付きAlGaInP系半導体レーザの製造方法を説明するための断面工程図であり、図において図27と同一符号は同一又は相当部分である。以下、図27に示す半導体レーザの製造工程を図29に沿って説明する。

【0042】まず、n型GaAs基板101上に、例えばMOCVD(有機金属気相成長)法により、n型AlGaInP下クラッド層102、AlGaInP量子井戸活性層103、及びp型AlGaInP上クラッド層104を順次結晶成長し、さらに、上クラッド層104上にp型GaAsコンタクト層105を結晶成長して、図29(a)に示すようなレーザ積層構造を形成する。このとき、活性層103はその結晶構造が自然超格子構造となるように、その成長条件をコントロールする。

【0043】次に、図29(b)に示すように、コンタクト層105上に、図中二点鎖線で示す劈開位置近傍に開口110aを有するSiO₂膜パターン110を形成する。開口部110aの幅wは、劈開の精度を考慮して20 μ m程度とする。次に、図29(c)に示すように、SiO₂膜パターン110をマスクとして、気相拡散、又は固相拡散により、レーザ積層構造中にZn原子を拡散し、Zn拡散領域108を形成する。このZnの拡散によって活性層103のレーザ端面近傍の領域は、自然超

(12)

21

格子構造が無秩序化された領域109となる。Zn拡散は、GaAsとAlGaInPでは進む拡散速度が違い、通常、AlGaInP量子井戸活性層103、及びその上下に配置されたAlGaInPクラッド層104、102中の方が、GaAsからなる基板101、及びコンタクト層105中よりも早くその拡散が進む。

【0044】この後、SiO₂膜パターン110を除去し、図29(d)に示すように、基板101の裏面にn側電極106を、コンタクト層105上にp側電極107を形成する工程、劈開により素子分離を行ない共振器端面150を形成する工程等を経て、図27に示す半導体レーザが完成する。

【0045】次に動作について説明する。n側電極106、p側電極107に、レーザのpn接合に対して順方向のバイアスを印加すると、電子及び正孔は活性層103に注入され、活性層103内で再結合して光を発生する。活性層103内で発生した光は一对の共振器端面150間を活性層に沿って導波され、反射、増幅を繰り返し、レーザ発振に至る。ここで、活性層103の共振器端面近傍の領域はZnの拡散によりその自然超格子構造が無秩序化された領域109となっており、この領域109の禁制帯幅は、自然超格子構造が無秩序化されていないレーザ中央部の活性層の禁制帯幅より広がっている。これにより、本従来例においては、レーザ端面での光の吸収が抑えられ、高出力のレーザ動作が可能である。

【0046】また、図28は、自然超格子の無秩序化を利用して作製された、従来の他の窓構造付きAlGaInP系半導体レーザの共振器長方向に沿った断面を示す模式図である。図において、図27と同一符号は同一又は相当部分であり、118はレーザ端面からの不純物導入によりレーザ端面近傍に形成されたZn拡散領域である。

【0047】図30は図28に示す窓構造付きAlGaInP系半導体レーザの製造方法を説明するための断面工程図であり、図において図28と同一符号は同一又は相当部分である。以下、図28に示す半導体レーザの製造工程を図30に沿って説明する。まず、n型GaAs基板101上に、例えばMOCVD法により、n型AlGaInP下クラッド層102、AlGaInP量子井戸活性層103、及びp型AlGaInP上クラッド層104を順次結晶成長し、さらに、上クラッド層104上にp型GaAsコンタクト層105を結晶成長して、図30(a)に示すようなレーザ積層構造を形成する。このとき、活性層103はその結晶構造が自然超格子構造となるように、その成長条件をコントロールする。

【0048】次に、図30(b)に示すように、図30(a)中二点鎖線で示す位置で劈開して共振器端面150を形成する。この後、気相拡散又は固相拡散により共振器端面150からレーザ積層構造中にZn原子を拡散

22

し、図30(c)に示すように、Zn拡散領域108を形成する。このZnの拡散によって活性層103のレーザ端面近傍の領域は、自然超格子構造が無秩序化された領域109となる。ここで、不純物拡散の深さは、無秩序化領域109の長さ(窓領域の長さ)dが4~5μm程度となるような深さとする。この後、図30(d)に示すように、基板101の裏面にn側電極106を、コンタクト層105上にp側電極107を形成する工程等を経て、図28に示す半導体レーザが完成する。

【0049】次に動作について説明する。n側電極106、p側電極107に、レーザのpn接合に対して順方向のバイアスを印加すると、電子及び正孔は活性層103に注入され、活性層103内で再結合して光を発生する。活性層103内で発生した光は一对の共振器端面150間を活性層103に沿って導波され、反射、増幅を繰り返し、レーザ発振に至る。ここで、活性層103の共振器端面近傍の領域はZnの拡散によりその自然超格子構造が無秩序化された領域109となっており、この領域109の禁制帯幅は、自然超格子構造が無秩序化されていないレーザ中央部の活性層103の禁制帯幅より広がっている。これにより、本従来例においても図27に示す従来例と同様、レーザ端面での光の吸収が抑えられ、高出力のレーザ動作が可能である。また、本従来例では、不純物の導入を共振器端面から直接行なうことにより、不純物が拡散された窓領域の長さを、図27に示す従来例よりも短く形成することが可能であるので、窓領域の不純物による吸収損失を低減することができる。

【0050】また、以上で説明したのと同様に、複数の量子井戸層とバリア層との繰り返しからなる量子井戸構造のような200オングストローム以下の層厚の構造からなる活性層を有する半導体レーザでは、該量子井戸構造に亜鉛(Zn)やシリコン(Si)のような不純物を拡散させ、ウエル層とバリア層を構成する原子を混じり合わせてディスオーダーさせることにより、量子井戸構造の実効的なバンドギャップエネルギーを、バリア層のそれとほぼ等しい値とし、該ディスオーダーされていない量子井戸構造層の実効的なバンドギャップエネルギーより大きくすることにより、このディスオーダー部分においてレーザ光に対して“透明”な窓構造層を得ることができ、レーザの高出力動作時の端面破壊を防止して高出力動作を可能とすることができるものである。

【0051】また、上記のように、活性層を構成する材料であるIn_{0.5}Ga_{0.5}P層は、普通に結晶成長した状態で、InとGaが交互に積層された量子効果を有する層となるもので、これは自然超格子と呼ばれている。そして、この自然超格子を上述のようにZnでディスオーダーすると、そのバンドギャップエネルギーを大きくすることができるものである。

【0052】

(13)

23

【発明が解決しようとする課題】従来の $0.67\mu\text{m}$ 帯のレーザ光を発する $\text{InGaP}/\text{InAlGaP}$ 系の半導体レーザは以上のように構成されていたが、該従来の半導体レーザにおいては、 $p-(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ クラッド層4のキャリア濃度はただか $8 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 程度しかドーピングすることができないものであった。ここで、従来装置の製造における、 $p-(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ クラッド層4へのドーピングの方法は、層を構成する Al 、 Ga 、 In 、及び P の原料ガスとともに、ドーパントの材料のガス（ Zn 、 Si 等）と一緒に流して結晶中に取り込ませるというものであったが、この結晶成長中のドーピング量は結晶の種類に対して限界があり、 $p-(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ クラッド層の p キャリア濃度は上記のようにただか $8 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 程度の値が上限であった。本発明者らが行った1つの実験では、III族原料ガス流量に対する DMZn 流量の比、に対するキャリア濃度の値は、図13に示すように、高くして約 $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ であり、また、キャリアの活性化率は実測データよりせいぜい90%までというのが限界であった。なお、この実験では、実際の層中の不純物濃度は、 $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}/0.9 = 5.56 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ であり、上記 $8 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ までは入っていなかったものと推測される。

【0053】また、上記図12(g),(h)を用いて説明したように、結晶成長及びリッジエッチング後に、上記リッジエッチングマスク16aを除去して上記リッジ部に不純物拡散源膜7を形成し、これより上記リッジ部に不純物拡散を行わせることも可能であるが、この場合は工程数が増えるとともに、上記不純物拡散源膜の形成において、上記リッジの位置との位置合わせが必要であり、その工程が複雑となるとともに、その精度も高精度のものが得られないという問題があった。

【0054】この結果、例えば同じ光ディスク用の $0.78\mu\text{m}$ 帯の半導体レーザである $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ 系のレーザに較べて、図11に示す $0.67\mu\text{m}$ の $\text{InGaP}/\text{InAlGaP}$ 系の従来例レーザは、その素子抵抗が高くなることとなった。光ディスク用の半導体レーザは、従来、 600MHz の高周波重畳の下で使用されていたが、この従来例の $0.67\mu\text{m}$ の半導体レーザでは、その素子抵抗が高いために $100 \sim 200\text{MHz}$ 程度の高周波重畳しかかけることができず、実用上問題となっていた。また、従来の窓構造付半導体レーザは上述のように結晶成長工程がすべて完了した後に、端面部分に不純物を導入して作製しているの、工程が複雑となると問題点があった。

【0055】この発明は上記のような従来問題点を解消するためになされたもので、 $0.67\mu\text{m}$ 帯の $\text{InGaP}/\text{InAlGaP}$ 系レーザにおける $p-(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ クラッド層の p キャリア濃度を従来より高くすることができ、これにより、該 0.6

24

$7\mu\text{m}$ 帯 $\text{InGaP}/\text{InAlGaP}$ 系レーザの素子抵抗を低くすることができて実用レベルの高周波重畳が可能な $0.67\mu\text{m}$ 帯の半導体レーザを、簡易な方法で製造することのできる半導体レーザの製造方法を提供することを目的としている。

【0056】またこの発明は、端面破壊を生ずることなく、高光出力動作の可能な、窓構造を有する半導体レーザを簡易な方法で製造することのできる半導体レーザの製造方法を提供することを目的としている。またこの発明は、上記のように $p-(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ クラッド層の p キャリア濃度を高くできて、短波長領域における温度特性の劣化なく素子抵抗を低くすることができ、実用レベルの高周波重畳が可能であるとともに、端面破壊を生ずることなく高光出力動作の可能な、窓構造を有する半導体レーザを簡易な方法で製造することのできる半導体レーザの製造方法を提供することを目的としている。

【0057】

【課題を解決するための手段】この発明にかかる半導体レーザの製造方法は、リッジ導波路構造を有するリッジ埋め込み型半導体レーザを製造する方法において、半導体基板上に、第1導電型下クラッド層、活性層、及び第2導電型上クラッド層を少なくとも含む半導体結晶層を成長する工程と、上記半導体結晶層上の、後で形成されるリッジ部の頂部となるストライプ状の領域に、それから上記上クラッド層中に拡散したときに、第2導電型のドーパントとして機能する原子を含むストライプ状のパターンをもつ不純物拡散源膜を形成する工程と、上記半導体結晶層を、上記不純物拡散源膜を含むリッジエッチングマスクを用いて、上記第2導電型上クラッド層がストライプ状のリッジ部を有する形状にリッジエッチングする工程と、リッジ部の両側部に該リッジ部を埋め込むように第1導電型の電流ブロック層を埋め込み成長する工程と、熱処理により上記ストライプ状パターンになる不純物拡散源膜から上記第2導電型のドーピングとして機能する原子を上記上クラッド層中に拡散させ、上記リッジ部の第2導電型上クラッド層中に第2導電型不純物を含む高濃度層を形成する工程とを含むことを特徴とするものである。

【0058】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記不純物拡散源膜は、それからその構成材料の原子が上記第2導電型上クラッド層中に拡散したとき、該原子が第2導電型のドーパントとして機能するような材料からなる不純物拡散源膜であるものとしたものである。またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記不純物拡散源膜は、 ZnO 、 CdO 、 MgO のいずれかからなるものとしたものである。

【0059】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記不純物拡散源膜は、該膜中の不純物がそれからその下の上記第2導電型上クラッド層中に不

(14)

25

純物が拡散したとき、該不純物が第2導電型のドーパントとして機能するような不純物を含む不純物拡散源膜であるものとしたものである。

【0060】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記不純物拡散源膜への不純物のドーピング量を制御することにより、該膜下の層へ拡散する不純物の濃度を制御するようにしたものである。またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記不純物拡散源膜は、Zn, Cd, MgがドーパされたAl₂O₃, SiO₂, Si₃N₄, SrO, あるいはSi

【0061】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記ストライプ状のリッジ部は、上記第2導電型上クラッド層上にさらに第2導電型第1コンタクト層を含むものとしたものである。またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記不純物拡散源膜のみを、上記リッジエッチングマスクとしたものである。

【0062】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記リッジエッチングマスクは、上記不純物拡散源膜の上にさらに後の電流ブロック層成長時の選択成長マスクとなる膜を形成したものであり、上記リッジエッチング後、上記その上に第2導電型第2コンタクト層を成長する工程の前に、上記選択成長マスクとなる膜、及び上記不純物拡散源膜を除去するようにしたものである。

【0063】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記熱処理による拡散は、上記第1導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱によるものとしたものである。またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記第1導電型の電流ブロック層を埋め込み成長した後、上記リッジ部、及びその側部に埋め込み成長された第1導電型の電流ブロック層の上の全面に、第2導電型第2コンタクト層を成長する工程を含むものとしたものである。

【0064】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記熱処理による拡散は、上記第1導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱と、上記第2コンタクト層の結晶成長時の熱とにより行われるものとしたものである。またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記熱処理による拡散は、上記第1導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱と、上記第2コンタクト層の結晶成長時の熱とにより行われ、さらに全結晶成長後のアニールにより行われるものとしたものである。

【0065】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記不純物拡散源膜からの上記上クラッド層への不純物の拡散が、上記電流ブロック層の結晶成長時の熱、及び上記全面コンタクト層の結晶成長の熱に

26

よりどのくらい行われたかを、上記全ての結晶成長が終わった後に該ウエハの一部の断面から観察し、その拡散の不十分な量だけさらにアニールを行うものとしたものである。

【0066】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記半導体基板はn型GaAs基板、上記第1導電型下クラッド層はn-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P下クラッド層、上記活性層はIn_{0.5}Ga_{0.5}P活性層、上記第2導電型上クラッド層はp-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P上クラッド層、上記第2導電型第1コンタクト層はp-GaAs第1コンタクト層、上記第2導電型コンタクト層はp-GaAs第2コンタクト層であるものとしたものである。

【0067】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記活性層は、複数のGa_{0.5}In_{0.5}P量子井戸層と、(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P量子バリア層とを有する多重量子井戸構造よりなるものとしたものである。またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記活性層は、In_{0.5}Ga_{0.5}P自然超格子よりなるものとしたものである。

【0068】またこの発明は、リッジ埋め込み型半導体レーザを製造する方法において、半導体基板上に、第1導電型下クラッド層、量子井戸構造の活性層、及び第2導電型上クラッド層を少なくとも含む半導体結晶層を成長する工程と、上記半導体結晶層上の、後で形成されるリッジ部の頂部となるストライプ状の領域のうち窓構造を形成すべき位置に、それから上記上クラッド層中に拡散したときに第2導電型のドーパントとして機能する原子を含むストライプ状のパターンをもつ第2の不純物拡散源膜を形成する工程と、上記半導体結晶層を、上記第2の不純物拡散源膜をその一部に含み上記ストライプ状領域にそって形成されたリッジエッチングマスクを用いて、上記第2導電型上クラッド層がストライプ状のリッジ部を有する形状にリッジエッチングする工程と、リッジ部の両側部に該リッジ部を埋め込むように第1導電型の電流ブロック層を埋め込み成長する工程と、熱処理により上記リッジストライプ領域のうちの窓構造形成領域に形成された第2の不純物拡散源膜から上記第2導電型のドーピングとして機能する原子を、上記上クラッド層を経て上記量子井戸構造の活性層に達するまで拡散させ、該活性層中で拡散された領域において上記活性層の量子井戸構造のディスオーダーを生じせしめて、窓構造を形成する工程とを含むものとしたものである。

【0069】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記第2の不純物拡散源膜をパターンニングする方法は、結晶成長したウエハ上の全面に第2の不純物拡散源膜の材料となる膜を形成したのち、これをレーザの窓領域に相当する領域にそったストライプ状にパターンニングする工程と、その上にリッジエッチングマスクをレーザのリッジ形成領域にそったストライプ状にパ

(15)

27

ターニング形成する工程と、上記リッジエッチングマスクをマスクとして、上記レーザの窓領域形成領域にそった上記ストライプ状の第2の不純物拡散源膜の露出部をエッチング除去し、各4角形状の2つの不純物拡散源膜を形成する工程とからなるものとしたものである。

【0070】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記第2の不純物拡散源膜をパターンニングする方法は、結晶成長したウエハ上の全面に第2の不純物拡散源膜の材料となる膜を形成したのち、これをレーザの窓領域に相当する領域にそったストライプ状にパターンニングする工程と、そののちリッジエッチングマスクの材料からなるマスクを全面に形成する工程と、上記窓構造形成領域にそったストライプ状の第2の不純物拡散源膜、及びこれをその上から覆う上記リッジエッチングマスクとなる材料からなる全面のマスクを、レーザのリッジ形成領域にそったストライプ状にパターンニングする工程とからなるものとしたものである。

【0071】またこの発明は、リッジ埋め込み型半導体レーザを製造する方法において、半導体基板上に、第1導電型下クラッド層、量子井戸構造の活性層、及び第2導電型上クラッド層を少なくとも含む半導体結晶層を成長する工程と、上記半導体結晶層上の、後で形成されるリッジ部の頂部となるストライプ状の領域のうち窓構造を形成すべき位置に、それから上記クラッド層中に拡散したときに第2導電型のドーパントとして機能する原子を含む第2の不純物拡散源膜を、上記半導体結晶層上の、後で形成されるリッジ部の頂部となるストライプ状の領域に、それから上記クラッド層中に拡散したときに第2導電型のドーパントとして機能する原子を含む第1の不純物拡散源膜を含む、不純物拡散源膜パターンを、上記ストライプ状のリッジ形成領域上に形成する工程と、上記半導体結晶層を、上記不純物拡散源膜を含む上記ストライプ状領域にそって形成されたリッジエッチングマスクを用いて、上記第2導電型上クラッド層がストライプ状のリッジ部を有する形状にリッジエッチングする工程と、リッジ部の両側部に該リッジ部を埋め込むように第1導電型の電流ブロック層を埋め込み成長する工程と、熱処理により上記リッジストライプ領域のうちの窓構造形成領域に形成された第2の不純物拡散源膜から上記第2導電型のドーピングとして機能する原子を上記上クラッド層中に拡散させ、上記リッジ部の第2導電型上クラッド層中に第2導電型不純物を含む高濃度層を形成する工程とを含むものとしたものである。

【0072】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記第1、及び第2の不純物拡散源膜を

28

形成する工程は、上記窓部を形成すべき領域に当たる位置を除く上記リッジストライプ領域上の位置に、拡散量を減少させる拡散スルー膜を形成し、その後上記リッジストライプ領域上の全体に、不純物拡散源膜を所要の厚さに形成するものとしたものである。

【0073】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記拡散スルー膜はプラズマCVD法により形成し、上記不純物拡散源膜はスパッタ法により形成し、上記選択成長マスクは、熱CVD法により形成するものとしたものである。またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記第1、及び第2の不純物拡散源膜を形成する工程は、上記リッジストライプ領域上の窓部を形成すべき領域に第2の不純物拡散源膜を形成し、その後、上記リッジストライプ領域上の全体に第1の不純物拡散源膜を所要の厚さだけ形成するものとしたものである。

【0074】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記第1、及び第2の不純物拡散源膜をパターンニングする方法は、結晶成長したウエハ上の全面に第2の不純物拡散源膜の材料となる膜を形成したのち、これをレーザの窓領域に相当する領域にそったストライプ状にパターンニングする工程と、そののち第1の不純物拡散源膜となる材料からなるマスクをレーザのリッジ形成領域にそったストライプ状にパターンニング形成する工程と、上記リッジストライプ状の第1の不純物拡散源膜材料膜をマスクとして、上記レーザの窓領域形成領域にそった上記ストライプ状の第2の不純物拡散源膜の露出部をエッチング除去する工程とからなるものとしたものである。

【0075】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記第1、及び第2の不純物拡散源膜をパターンニングする方法は、結晶成長したウエハ上の全面に第2の不純物拡散源膜の材料となる膜を形成したのち、これをレーザの窓領域に相当する領域にそったストライプ状にパターンニングする工程と、そののち第1の不純物拡散源膜となる材料からなるマスクを全面に形成する工程と、上記窓構造形成領域にそったストライプ状の第2の不純物拡散源膜、及びこれをその上から覆う上記第1の不純物拡散源膜となる材料からなる全面のマスクを、レーザのリッジ形成領域にそったストライプ状にパターンニングする工程とからなるものであるものとしたものである。

【0076】

【作用】この発明にかかるリッジ導波路構造を有するリッジ埋め込み型半導体レーザを製造する方法においては、半導体基板上に、第1導電型下クラッド層、活性層、及び第2導電型上クラッド層を少なくとも含む半導体結晶層を成長する工程と、上記半導体結晶層上の、後で形成されるリッジ部の頂部となるストライプ状の領域に、それから上記上クラッド層中に拡散したときに、第

(16)

29

2導電型のドーパントとして機能する原子を含むストライプ状のパターンをもつ不純物拡散源膜を形成する工程と、上記半導体結晶層を、上記不純物拡散源膜を含むリッジエッチングマスクを用いて、上記第2導電型上クラッド層がストライプ状のリッジ部を有する形状にリッジエッチングする工程と、リッジ部の両側部に該リッジ部を埋め込むように第1導電型の電流ブロック層を埋め込み成長する工程と、熱処理により上記ストライプ状パターンになる不純物拡散源膜から上記第2導電型のドーピングとして機能する原子を上記上クラッド層中に拡散させ、上記リッジ部の第2導電型上クラッド層中に第2導電型不純物を含む高濃度層を形成する工程とを含むものとしたので、従来例に比し、簡易な方法で、p型不純物濃度の高いInGaAsP上クラッド層を得ることができ、これによりその素子抵抗を大きく低減することができ、実用レベルの高周波重畳が可能で、該高周波重畳時の特性を大きく改善できる0.67 μ m帯のInGaP/InAlGaP系半導体レーザを得ることができる。

【0077】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記不純物拡散源膜は、それからその構成材料の原子が第2導電型上クラッド層中に拡散したとき、該原子が第2導電型のドーパントとして機能するような材料からなる不純物拡散源膜であるものとしたので、該膜の構成材料の原子が第2導電型上クラッド層中に拡散して第2導電型のドーパントとして機能する。

【0078】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記不純物拡散源膜は、該膜中の不純物がそれからその下の上記第2導電型上クラッド層中に不純物が拡散したとき、該不純物が第2導電型のドーパントとして機能するような不純物を含む不純物拡散源膜であるものとしたので、該膜中の不純物がその下の第2導電型上クラッド層中に拡散したとき、第2導電型のドーパントとして機能する。

【0079】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記不純物拡散源膜への不純物のドーピング量を制御することにより、該膜下の層へ拡散する不純物の濃度を制御するようにしたので、拡散領域の濃度を高精度に制御することができる。

【0080】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記ストライプ状のリッジ部は、第2導電型上クラッド層上にさらに第2導電型第1コンタクト層を含むものとしたので、不純物は該第2導電型第1コンタクト層を経て第2導電型上クラッド層に拡散し、拡散領域を形成する。またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記不純物拡散源膜のみを、リッジエッチングマスクとしたので、工程が簡単である。

【0081】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記リッジエッチングマスクは、不純物拡散源膜の上にさらに後の電流ブロック層成長時の選択成長マスクとなる膜を形成したものとし、リッジエッチ

30

ング後、その上に第2導電型第2コンタクト層を成長する工程の前に、上記選択成長マスクとなる膜、及び不純物拡散源膜を除去するようにしたので、上記不純物拡散源膜が選択成長マスクとして機能しない場合でも、選択成長を正確に行うことができる。

【0082】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記熱処理による拡散は、第1導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱によるものとしたもので、例えば500°C、約30分の電流ブロック層の埋め込み成長により、上記第2導電型上クラッド層中の高濃度拡散領域が形成される。

【0083】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、第1導電型の電流ブロック層を埋め込み成長した後、上記リッジ部、及びその側部に埋め込み成長された第1導電型の電流ブロック層の上の全面に、第2導電型第2コンタクト層を成長する工程を含み、上記熱処理による拡散は、第1導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱と、第2コンタクト層の結晶成長時の熱とにより行うものとしたので、上記500°C、約30分等の電流ブロック層の埋め込み成長に加えて、例えば500°C、約1時間の第2コンタクト層の結晶成長により、上記第2導電型上クラッド層中の高濃度拡散領域が形成される。

【0084】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記熱処理による拡散は、第1導電型電流ブロック層の埋め込み成長による熱と、第2コンタクト層の結晶成長時の熱とにより行われ、さらに全結晶成長後のアニールにより行うものとしたので、上記500°C、約30分の電流ブロック層の埋め込み成長、500°C、約1時間の第2コンタクト層の結晶成長に加えて、例えば500°C、約30分のアニールにより、上記第2導電型上クラッド層中の高濃度拡散領域が形成される。

【0085】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記不純物拡散源膜からの上クラッド層への不純物の拡散が、電流ブロック層の結晶成長時の熱、及び全面コンタクト層の結晶成長の熱によりどのくらい行われたかを、全ての結晶成長が終わった後に該ウエハの一部の断面から観察し、その拡散の不十分な量だけさらにアニールを行うものとしたので、上記電流ブロック層の埋め込み成長、第2コンタクト層の結晶成長後のアニールの時間を、適切な時間に設定することができる。

【0086】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、半導体基板はn型GaAs基板、第1導電型下クラッド層はn-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P下クラッド層、活性層はIn_{0.5}Ga_{0.5}P活性層、第2導電型上クラッド層はp-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P上クラッド層、第2導電型第1コンタクト層はp-GaAs第1コンタクト層、第2導電型コン

(17)

31

タクト層は p -GaAs第2コンタクト層であるものとしたので、かかる構造の短波長InGaAlP可視光レーザダイオードにおいて、その素子抵抗を大きく低減して、高周波重畳時の特性を大きく改善することができる。

【0087】またこの発明は、活性層を、複数のGa_{0.5}In_{0.5}P量子井戸層と、(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P量子バリア層とを有する多重量子井戸構造よりなるものとした半導体レーザにおいて、上記高周波重畳時の特性の改善を達成できる。またこの発明は、活性層をIn_{0.5}Ga_{0.5}P自然超格子よりなるものとした半導体レーザにおいて、上記高周波重畳時の特性の改善を達成できる。

【0088】またこの発明は、リッジ埋め込み型半導体レーザを製造する方法において、半導体基板上に、第1導電型下クラッド層、量子井戸構造の活性層、及び第2導電型上クラッド層を少なくとも含む半導体結晶層を成長する工程と、上記半導体結晶層上の、後で形成されるリッジ部の頂部となるストライプ状の領域のうち窓構造を形成すべき位置に、それから上記上クラッド層中に拡散したときに第2導電型のドーパントとして機能する原子を含むストライプ状のパターンをもつ第2の不純物拡散源膜を形成する工程と、上記半導体結晶層を、上記第2の不純物拡散源膜をその一部に含み上記ストライプ状領域にそって形成されたリッジエッチングマスクを用いて、上記第2導電型上クラッド層がストライプ状のリッジ部を有する形状にリッジエッチングする工程と、リッジ部の両側部に該リッジ部を埋め込むように第1導電型の電流ブロック層を埋め込み成長する工程と、熱処理により上記リッジストライプ領域のうちの窓構造形成領域に形成された第2の不純物拡散源膜から上記第2導電型のドーピングとして機能する原子を、上記上クラッド層を経て上記量子井戸構造の活性層に達するまで拡散させ、該活性層中で拡散された領域において上記活性層の量子井戸構造のディスオーダーを生じせしめて、窓構造を形成する工程とを含むものとしたので、窓構造を有し、端面破壊なく高出力動作の可能な半導体レーザを得ることができる。

【0089】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、結晶成長したウエハ上の全面に第2の不純物拡散源膜の材料となる膜を形成したのち、これをレーザの窓領域に相当する領域にそったストライプ状にパターンニングする工程と、その上にリッジエッチングマスクをレーザのリッジ形成領域にそったストライプ状にパターンニング形成する工程と、上記リッジエッチングマスクをマスクとして、上記レーザの窓領域形成領域にそった上記ストライプ状の第2の不純物拡散源膜の露出部をエッチング除去し、各4角形状の2つの不純物拡散源膜を形成する工程とから上記第2の不純物拡散源膜をパターンニングし、上記窓構造の形成に必要な不純物拡散源膜

32

を容易にパターンニング形成できる。

【0090】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、結晶成長したウエハ上の全面に第2の不純物拡散源膜の材料となる膜を形成したのち、これをレーザの窓領域に相当する領域にそったストライプ状にパターンニングする工程と、そののちリッジエッチングマスクの材料からなるマスクを全面に形成する工程と、上記窓構造形成領域にそったストライプ状の第2の不純物拡散源膜、及びこれをその上から覆う上記リッジエッチングマスクとなる材料からなる全面のマスクを、レーザのリッジ形成領域にそったストライプ状にパターンニングする工程とから、上記第2の不純物拡散源膜をパターンニングし、上記窓構造の形成に必要な不純物拡散源膜を容易にパターンニング形成できる。

【0091】またこの発明は、リッジ埋め込み型半導体レーザを製造する方法において、半導体基板上に、第1導電型下クラッド層、量子井戸構造の活性層、及び第2導電型上クラッド層を少なくとも含む半導体結晶層を成長する工程と、上記半導体結晶層上の、後で形成されるリッジ部の頂部となるストライプ状の領域のうち窓構造を形成すべき位置に、それから上記クラッド層中に拡散したときに第2導電型のドーパントとして機能する原子を含む第2の不純物拡散源膜を、上記半導体結晶層上の、後で形成されるリッジ部の頂部となるストライプ状の領域に、それから上記クラッド層中に拡散したときに第2導電型のドーパントとして機能する原子を含む第1の不純物拡散源膜を含む、不純物拡散源膜パターンを、上記ストライプ状のリッジ形成領域上に形成する工程と、上記半導体結晶層を、上記不純物拡散源膜を含む上記ストライプ状領域にそって形成されたリッジエッチングマスクを用いて、上記第2導電型上クラッド層がストライプ状のリッジ部を有する形状にリッジエッチングする工程と、リッジ部の両側部に該リッジ部を埋め込むように第1導電型の電流ブロック層を埋め込み成長する工程と、熱処理により上記リッジストライプ領域のうちの窓構造形成領域に形成された第2の不純物拡散源膜から上記第2導電型のドーピングとして機能する原子を、上記上クラッド層を経て上記量子井戸構造の活性層に達するまで拡散させ、該活性層中で拡散された領域において上記活性層の量子井戸構造のディスオーダーを生じせしめて窓構造を形成するとともに、上記第1の不純物拡散源膜から上記第2導電型のドーピングとして機能する原子を上記上クラッド層中に拡散させ、上記リッジ部の第2導電型上クラッド層中に第2導電型不純物を含む高濃度層を形成する工程とを含むものとしたので、その素子抵抗を大きく低減することができ、実用レベルの高周波重畳が可能で、該高周波重畳時の特性を大きく改善できるとともに、端面破壊なく高出力動作の可能な0.67 μ m帯のInGaP/InAlGaP系半導体レーザを得ることかできる。

(18)

33

【0092】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記窓部を形成すべき領域に当たる位置を除く上記リッジストライプ領域上の位置に、拡散量を減少させる拡散スルー膜を形成し、その後上記リッジストライプ領域上の全体に、不純物拡散源膜を所要の厚さに形成することにより、上記第1、及び第2の不純物拡散源膜を形成できる。

【0093】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記拡散スルー膜はプラズマCVD法により形成し、上記不純物拡散源膜はスパッタ法により形成し、上記選択成長マスクは、熱CVD法により形成することにより、上記不純物拡散源膜を得られる。またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、上記リッジストライプ領域上の窓部を形成すべき領域に第2の不純物拡散源膜を形成し、その後、上記リッジストライプ領域上の全体に第1の不純物拡散源膜を所要の厚さだけ形成することにより、上記第1、及び第2の不純物拡散源膜を形成できる。

【0094】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、結晶成長したウエハ上の全面に第2の不純物拡散源膜の材料となる膜を形成したのち、これをレーザの窓領域に相当する領域にそったストライプ状にパターンニングする工程と、そののち第1の不純物拡散源膜となる材料からなるマスクをレーザのリッジ形成領域にそったストライプ状にパターンニング形成する工程と、上記リッジストライプ状の第1の不純物拡散源膜材料膜をマスクとして、上記レーザの窓領域形成領域にそった上記ストライプ状の第2の不純物拡散源膜の露出部をエッチング除去する工程とから、上記第1、及び第2の不純物拡散源膜をパターンニング形成できる。

【0095】またこの発明は、上記半導体レーザの製造方法において、結晶成長したウエハ上の全面に第2の不純物拡散源膜の材料となる膜を形成したのち、これをレーザの窓領域に相当する領域にそったストライプ状にパターンニングする工程と、そののち第1の不純物拡散源膜となる材料からなるマスクを全面に形成する工程と、上記窓構造形成領域にそったストライプ状の第2の不純物拡散源膜、及びこれをその上から覆う上記第1の不純物拡散源膜となる材料からなる全面のマスクを、レーザのリッジ形成領域にそったストライプ状にパターンニングする工程とから、上記第1、及び第2の不純物拡散源膜をパターンニング形成できる。

【0096】

【実施例】 実施例1. 図1は、本発明の第1の実施例による半導体レーザの製造方法により製造された0.67 μm 帯のInGaP/InAlGaP系半導体レーザの概観図、及びその活性層の組成、及び構造を示す。図1において、1はn-GaAs半導体基板（不純物濃度は $1\sim 3\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、厚みは95 μm ）である。該n-GaAs半導体基板1上には、n-（Al0.7Ga0.3）0.5

34

）0.5 In0.5 Pクラッド層2（不純物濃度は $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、膜厚は1.5 μm ）が配置される。該n-（Al0.7Ga0.3）0.5 In0.5 Pクラッド層2上には、アンドープのIn0.5Ga0.5P活性層3（膜厚は0.07 μm ）が配置される。該In0.5Ga0.5P活性層3上には、p-（Al0.7Ga0.3）0.5 In0.5 P上クラッド層4（不純物濃度は後で説明される、その不純物はZn又はSi、膜厚は0.25 μm ）が配置される。該p-（Al0.7Ga0.3）0.5 In0.5 P上クラッド層4のリッジ部（リッジ底部の幅は5.5 μm 、リッジ上部の幅は3.0 μm ）4a上部分には、p-GaAs第1コンタクト層5（不純物濃度は $2\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 、膜厚は0.4 μm ）が配置される。該p-（Al0.7Ga0.3）0.5 In0.5 P上クラッド層4の薄膜部4b上には、n-GaAs電流ブロック層9（不純物濃度は $6\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、膜厚は1 μm ）が配置される。上記p-GaAs第1コンタクト層5上、及び上記n-GaAs電流ブロック層9上には、p-GaAs第2コンタクト層11（不純物濃度は $2\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 、膜厚は2.5 μm ）が配置される。また、上記p-GaAs第2コンタクト層11上には、Ti/Pt/Auよりなるp側電極12が配置され、p-GaAs半導体基板1側には、AuGe/Ni/Ti/Auよりなるn側電極13が配置される。本レーザの電極を除いた部分の高さは100 μm である。

【0097】また、図1の0.67 μm 帯のInGaP/InAlGaP系半導体レーザを製造する、本発明の第1の実施例による半導体レーザの製造方法を示す図2において、6はGaAs第1コンタクト層5上の全面に形成された不純物拡散源膜、6aは上記不純物拡散源膜6の、リッジ部形成領域上の部分のみがパターンニングにより残されてストライプ状に形成された不純物拡散源膜である。また、8は、上記p-（Al0.7Ga0.3）0.5 In0.5 Pクラッド層4の一部、及び上記p-GaAs第1コンタクト層5の所要の領域がエッチングにより除去されて形成されたリッジ領域、9は、該リッジ領域8の側部に埋め込み選択成長により形成配置されるGaAs電流ブロック層、10は、上記不純物拡散源膜6aからその不純物が下層のp-GaAs第1コンタクト層5、及びp-（Al0.7Ga0.3）0.5 In0.5 Pクラッド層4に拡散することにより該両層5、4中に形成された不純物拡散領域である。

【0098】次に、図2を参照して本第1の実施例の半導体レーザの製造方法について説明する。まず、n-GaAs半導体基板1上に、n-（Al0.7Ga0.3）0.5 In0.5 Pクラッド層2、In0.5Ga0.5P活性層3、p-（Al0.7Ga0.3）0.5 In0.5 Pクラッド層4、p-GaAs第1コンタクト層5の各層を、MOCVD（Metal Organic Chemical Vapor Deposition）法によりエピタキシャル結晶成長する。

(19)

35

【0099】次にこのウエハ上に、図2(b)に示すように全面に不純物拡散源膜6を形成する。この不純物拡散源膜6は、後の工程で、その構成材料の元素がp-GaAs第1コンタクト層5、及びp-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4中に拡散して各層内でp型のドーパントとなるような膜として設けられる。このような膜の例としては、ZnO、CdO、MgO等があり、それぞれZn、Cd、Mgが、p-GaAs第1コンタクト層5、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4中に不純物として拡散してp型のドーパントとなる。このZnO、CdO、MgO等からなる膜6は、スパッタ法により成膜する。

【0100】次にこの不純物拡散源膜6を、ホトレジストをマスクとしたパターニングにより、図2(c)に示すようなストライプ状の膜6aにパターニングする。ストライプの幅は5〜15μmが適当である。次に、リッジエッチングを行うが、本実施例では、上記不純物拡散源膜6aをそのままリッジエッチングマスクとして使用する。すなわち、図2(d)に示すように、この不純物拡散源膜6aをマスクとしてエッチングを5分程度の時間行い、リッジ8を形成する。このエッチングでは、p-GaAs第1コンタクト層5と、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4の途中(層厚は0.3μm残す)までエッチングを行ってリッジ8を形成する。エッチング後の断面図を図2(d)に示す。

【0101】次に図2(e)に示すように再結晶成長を行い、リッジ部分8以外の箇所をn-GaAs電流ブロック層9(不純物濃度は $6 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、膜厚は1μm)で埋め込む。このとき、リッジ部分8では不純物拡散源膜6aが結晶成長時の選択成長マスクともなるため、この上には結晶成長は行われない。この結晶成長時には、ウエハは500℃以上の温度で約30分間程度加熱されるが、この熱によって上記不純物拡散源膜6aから不純物が、p-GaAs第1コンタクト層5へ、さらにはp-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4へ熱拡散し、p型不純物拡散領域10が形成される。

【0102】次に図2(f)に示すように、ウエットあるいはドライエッチングにより不純物拡散源膜6aを除去した後、さらにp-GaAs第2コンタクト層11を結晶成長し、n-GaAs半導体基板1側にAuGe/Ni/Ti/Auよりなるn側電極13を、p-GaAs第2コンタクト層11側にTi/Pt/Auよりなるp側電極12を、抵抗加熱による蒸着、あるいはEB(電子ビーム)蒸着、あるいはスパッタによって成膜することにより、図1に示すような半導体レーザを完成する。

【0103】このような本発明の第1の実施例による半導体レーザの製造方法においては、従来のエピタキシャル成長時のドーピングでは、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4としては、該ドーピングによりそのpキャリア濃度が $8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ とされるのが

36

上限であったのに対し、電流ブロック層9のエピタキシャル成長中において、上記不純物拡散源膜6aよりその下層の第1コンタクト層5、p型(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4へのp型不純物の拡散が起こり、拡散領域10が形成されることにより、p型(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4中のキャリア濃度が $1 \sim 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上となるまでのドーピングが可能となる。したがって、これにより該p-クラッド層4のシート抵抗が大きく低減される結果となり、これによりレーザの素子抵抗も大きく低減されることとなる。

【0104】このように本実施例1の半導体レーザの製造方法では、リッジ導波路構造を有するリッジ埋め込み型半導体レーザを製造する方法において、リッジマスク、即ちリッジエッチングのためのマスクを不純物拡散源となるような膜で構成し、これを用いてリッジエッチングを行った後、電流ブロック層の埋め込み成長時の熱により、該不純物拡散源膜からp-コンタクト層とp-クラッド層の途中まで不純物を拡散させるようにしたので、該不純物がその下層の結晶層中でp型のドーパントとして働くことによって、p-クラッド層のキャリア濃度を実効的に増加させることとなり、これにより該レーザの素子抵抗を大きく低減することができる。従って、これにより0.67μm帯InP系半導体レーザの高周波重畳時における大きな特性改善を達成することができる効果がある。

【0105】この際、図12に示した上記従来例の製造方法では、一度SiO₂またはSiNをマスクとしてリッジエッチングを行ったのち、該リッジエッチングマスクを剥がしてから不純物拡散源膜を該リッジの上に形成し、これより不純物拡散を行ってp型上クラッド層へのp型不純物の拡散を行うようにしているの、その製造に手間がかかり、煩雑であり、かつ高精度のマスク合わせが必要であるという問題があったが、本実施例1では、不純物拡散源膜をリッジエッチングマスク、及び選択成長マスクとして用いているので、リッジエッチングマスクを一度剥がして再び不純物拡散源膜を形成するという手間が不要となり、従ってその不純物拡散源膜を形成する際のパターニング精度が必要とされるという問題もなく、該従来法に比し大きな効果を有するものである。

【0106】実施例2. 上記実施例1では、上記不純物拡散源膜6としては、後の工程で、その構成材料の元素がp-GaAs第1コンタクト層5、及びp-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4中に拡散して各層内でp型のドーパントとなるような膜を用いた。本発明の第2の実施例は、この不純物拡散源膜6として、後の工程で、該膜中の不純物が該膜下の層に拡散したとき各層内でp型のドーパントとなるような不純物を含む膜を用いて構成したものである。このような膜の例とし

(20)

37

では、Zn, Cd, MgがドーピングされたAl₂O₃、SiO₂、Si₃N₄、SrO等、またはSiがドーピングされたAl₂O₃等を用いることができ、これは熱CVD法を用いて成膜する。このような本実施例2においても、上記実施例1と同様の効果を得ることができる。

【0107】**実施例3**。上記実施例2では、上記不純物拡散源膜6として、後の工程で、該膜中の不純物が該膜下の層に拡散したとき各層内でp型のドーパントとなるような不純物を含む膜、即ち、Zn, Cd, MgがドーピングされたAl₂O₃、SiO₂、Si₃N₄、SrO等、SiがドーピングされたAl₂O₃等を用いて構成したが、本発明の第3の実施例は、このような不純物拡散源膜を用いた場合において、該不純物拡散源膜中へのドーピング量を制御することによって、該膜下の層へ拡散する不純物の濃度を制御するようにしたものである。

【0108】即ち、上記実施例2では、不純物拡散源膜6aによる不純物の拡散時において、特に不純物濃度についてはこれを規定していなかったが、あまりに多くの不純物の原子を拡散しても、これを活性化できるのでなければ、これらはキャリアとして働かないし、逆に加えて結晶性を劣化させ、かつ、活性化していない不純物が活性層にまで拡散して素子特性に悪影響を及ぼし、素子自体の信頼性にも悪い影響を与えることとなる。例えば、 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上の不純物原子を拡散した場合において、これらを活性化することができなければ、素子自体の信頼性にも悪い影響を与えることとなる。

【0109】そこで、本実施例3においては、上記実施例2におけるように、拡散すべき不純物で構成されているものではない膜中に、拡散するための不純物をあらかじめドーピングしておいて、これを図2における上記不純物拡散源膜6aとしたものにおいて、さらにこの際の該膜中のドーピング量を制御するようにしたもので、これによって、p-GaAs第1コンタクト層5、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4中への拡散により形成される拡散領域10の濃度を制御することができる。たとえば、このような不純物拡散源膜にZnドーピングされたAl₂O₃を用いることにより、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4へ拡散する不純物の濃度を制御することができるもので、この場合、結晶中に拡散する不純物の量は、Al₂O₃中にドーピングされているZn濃度に比例することとなり、たとえば、2重量パーセントのZnドーピングAl₂O₃で $1 \sim 3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ になる。ここで、不純物拡散源膜への不純物のドーピングの方法は、該不純物拡散源膜を気相成長する際に、該膜を構成する材料の原料ガスにドーピング不純物のガスを所要量含めることにより行う。

【0110】このような本実施例3の半導体レーザの製造方法では、拡散すべき不純物で構成されているものではない膜中に、拡散するための不純物をあらかじめドー

38

ピングしておき、このドーピング量を制御することによって拡散により形成される領域の濃度を制御するようにしたので、拡散する不純物の濃度を高精度に制御することができる効果がある。

【0111】**実施例4**。上記実施例1～3において挙げた不純物拡散源膜6aの例のうち、不純物をドーピングしたSiO₂、Si₃N₄を用いるときは、これらは電流ブロック層9を再成長により形成する際、その結晶成長に対するマスクとしても機能している。つまり、これらSiO₂、Si₃N₄よりなる不純物拡散源膜6a上には結晶成長が行われないことを利用し、これらを選択成長マスクとして兼用している。しかるに、任意の膜が必ず結晶成長に対してマスクとして機能するわけではなく、ZrO、ZnOについては、これらは選択成長用のマスクとしては機能しない。従って、本実施例4では、これらの上に選択成長用のマスクを別途形成することにより、選択成長用のマスクとしての機能を確実に達成できるようにしたものである。

【0112】即ち、本発明の実施例4による半導体レーザの製造方法では、上記図2(b)の工程において不純物拡散源膜6を形成する際、不純物拡散源膜6上にさらにSi₃N₄やSiO₂の膜をCVD法で形成することにより、図3に示すように、リッジエッチングを行った際に、不純物拡散源膜6a上にさらにSi₃N₄やSiO₂からなる結晶成長マスク14が形成されているようにしたものであり、これにより、その後の電流ブロック層9の埋め込み成長を行うときに、リッジ8上には常に結晶成長が行われないようにしたものである。この選択成長マスク膜14は、上記電流ブロック層9の埋め込み成長後に、全面にp-第2GaAsコンタクト層11を形成するときは、上記不純物拡散源膜6aとともに沸酸等により除去する。

【0113】このように本実施例4による半導体レーザの製造方法では、不純物拡散源膜6a上にさらにSi₃N₄やSiO₂からなる結晶成長マスク14を成膜するようにしたので、リッジ8上への結晶成長が確実に行われないようにすることができ、高精度の構造を有する特性のよい半導体レーザを得ることができる効果がある。

【0114】**実施例5**。上記実施例1では、n-GaAs電流ブロック層9の結晶成長中の熱により、不純物拡散源膜6aから、第1p型コンタクト層5とp型(AI_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P上クラッド層4の途中まで不純物が拡散するようにしたが、本発明の第5の実施例は、この不純物拡散源膜6aからのp型不純物の上クラッド層4中への拡散を、上記n-GaAs電流ブロック層9の結晶成長中の熱に加えて、該n-GaAs電流ブロック層9の成長後の上記p型第2コンタクト層11の結晶成長時の熱により行うようにしたものである。即ち、該p型第2コンタクト層11の結晶成長は、500°Cで、約1時間の間行われるが、上記n-GaAs電

(21)

39

流ブロック層9の500°C、約30分の熱に加えて、この500°C、約1時間の熱によってもさらに上記p型不純物の上クラッド層4中への拡散、即ち、拡散領域10の形成を行うようにしたものである。

【0115】このようにした本実施例5では、上記実施例1において、n-GaAs電流ブロック層9の結晶成長中の熱のみでは、不純物拡散源膜6aからのp型不純物の上クラッド層4への拡散が不十分な場合においても、より確かにp型(A10.7Ga0.3)0.5In0.5P上クラッド層4中に所望の濃度の高濃度層10を得ることができる効果がある。

【0116】実施例6. 上記実施例1, 5では、n-GaAs電流ブロック層9の結晶成長中の熱、及びこれに加えてp型第2コンタクト層11の結晶成長時の熱により、不純物拡散源膜6aから第1p型コンタクト層5と、p型(A10.7Ga0.3)0.5In0.5Pクラッド層4の途中まで不純物が拡散するようにしたが、本発明の第6の実施例は、この不純物拡散源膜6aからのp型不純物の下層への拡散を、n-GaAs電流ブロック層9の成長、p型第2コンタクト層11の成長時の熱に加えて、全ての結晶成長が終わった後に、新たに装置をアニール炉に入れて、熱処理(アニール)を行うことにより行うようにしたものであり、例えば、上記結晶成長による熱処理に加えて、さらに600°C、約30分間のアニールを加えるようにすることができる。なお、このアニールの方法については、後に述べる実施例12における、図9で説明するアニールの方法と同じである。

【0117】またこの際、上記不純物拡散源膜6aからのp型不純物の下層への拡散は、n-GaAs電流ブロック層9の成長時の熱、あるいはp型第2コンタクト層11の結晶成長時の熱によっても行われているから、上記全ての結晶成長が終わった後に、該ウエハの一部を割ってその断面からその拡散がどのくらい行われたかを観察し、その拡散の不十分な分だけさらにアニールを行うことにより、所要の深さ、濃度の拡散領域10を得るようにしてもよいものである。

【0118】このようにした本実施例6においては、上記実施例1, 5において、n-GaAs電流ブロック層9の結晶成長中の熱、あるいはさらにp型第2コンタクト層11の結晶成長時の熱のみでは、不純物拡散源膜6aからのp型不純物の上クラッド層4への拡散が不十分な場合においても、より確実にp型(A10.7Ga0.3)0.5In0.5P上クラッド層4中に所望の濃度の高濃度層10を得ることができる効果がある。

【0119】実施例7. 上記実施例1では、活性層3は、単にIn0.5Ga0.5P活性層であったが、本実施例7では、これを多重量子井戸構造よりなるものとしたものである。即ち、本実施例7は、活性層3は、図31に示すような多重量子井戸構造よりなるもので、図31において、31a, 31bは、厚み5nmのGa0.5I

40

n0.5Pよりなる量子井戸層、32a, 32b, 32cは、該2つの量子井戸層31a, 31bを挟むように設けられた、厚みが、32a, 32cは8nm、32bは厚み5nmの(A1xGa1-x)0.5In0.5P(x=0.5)量子バリア層である。また、2, 4は上述している、それぞれn型、p型の(A10.7Ga0.3)0.5In0.5Pよりなる上、下クラッド層である。このように、活性層3を、2つの量子井戸層31a, 31bを2つの量子バリア層32b, 32cで挟んで構成した多重量子井戸構造とした本実施例7においても、上記実施例1~6と同様の効果が得られるものである。

【0120】また、この活性層3は、異なる2種類の材料からなる層を交互に積層して構成してなる多重量子井戸構造の代わりに、Ga0.5In0.5P等からなる自然超格子構造を用いるようにしてもよい。

【0121】実施例8. 上記実施例1~7は、0.67μm帯半導体レーザの高周波重畳時の特性改善を図ってなされたものであるが、本発明の第8の実施例は、不純物拡散源膜6aによる固相拡散の方法を、上述したように、高出力AlGaInP可視光レーザダイオードにおいて、その高出力動作に極めて有効な窓構造を作製するのに適用したものである。

【0122】以下、このように不純物拡散源膜による固相拡散の方法を用いて窓構造を形成する、本発明の実施例8による半導体レーザの製造方法について説明する。図4は本実施例8の製造方法により作製された窓構造を有する半導体レーザを示すものであり、図5は該実施例8の半導体レーザの製造方法を説明するための図である。図4において、図4(c)は、半導体レーザチップ16を示し、図中のAはレーザ共振器端面近傍の窓領域を示し、図中のBは、該窓領域A以外のレーザ共振領域を示す。また、図4(a)は図4(c)のAの領域の断面図であり、図4(b)は図4(a)のBの領域の断面図である。該図4(a)において、15はIn0.5Ga0.5P活性層3をZnの不純物拡散によりディスオーダーすることにより形成されたディスオーダー領域である。

【0123】また、図5において、17は第1回目の結晶成長により形成されたエピタキシャル層からなるウエハ、18cは本方法により製造されるリッジ導波路構造を有するリッジ埋め込み半導体レーザのリッジ領域に相当する部分で、かつ上記図4(c)のAの領域である窓構造に相当する箇所に形成された不純物拡散源層である。ここで、不純物拡散源層18cとしては、上記実施例1におけると同様、ZnO, CdO, MgO等が挙げられ、これらの材料では、それぞれZn, Cd, Mgが不純物として下層の半導体層中に拡散してp型の不純物となる。

【0124】まず、本実施例8の製造方法について説明する。まず、第1回目の結晶成長により、n-GaAs半導体基板(不純物濃度は1~3×10¹⁸cm⁻³、厚みは

(22)

41

95 μm) 上に、エピタキシャル層、すなわち n -(Al_{0.7}Ga_{0.3})In_{0.5}P クラッド層2 (不純物濃度は $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、膜厚は1.5 μm)、In_{0.5}Ga_{0.5}P 活性層3 (膜厚は0.07 μm)、 p -(Al_{0.7}Ga_{0.3})In_{0.5}P クラッド層4 (不純物濃度は $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、その不純物はZn又はSi、膜厚は0.25 μm)、 p -GaAs 第1コンタクト層5 (不純物濃度は $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 、膜厚は0.4 μm) を結晶成長して、図5(a) に示されるウエハ17を形成する。ここで、上記活性層3は、上記実施例7におけるように、図31に示すような多重量子井戸構造となっているものである。

【0125】次に、上記ウエハ1上に、窓構造に相当する領域でリッジ上部に相当する位置である2箇所に、図5(a) に示すように、拡散源となるZnO、CdO、MgO等からなる不純物拡散源層18cを形成する。これらの材料では、それぞれZn、Cd、Mgが不純物として下層の半導体層中に拡散して p 型の不純物となるものである。この不純物拡散源層18cのパターニング形成は、図6の方法で行うことができる。

【0126】即ち、図6において、全面に上記材料よりなる不純物拡散源膜18を形成したのち、レーザの窓領域形成部に沿ったストライプ状のホトレジストマスク19を用いて、上記全面の不純物拡散源膜18をパターニングして、ストライプ状の不純物拡散源膜18aとする。例えばZnO膜をパターニングするときはフッ酸を用いてエッチングを行うことによりパターニングする。

【0127】しかるのち、この上にさらにSi₃N₄又はSiO₂膜を全面に形成し、これに対しリッジ形成領域に沿ったホトレジストマスク (図示せず) を用いてエッチングを行うことにより、該SiNまたはSiO₂膜のリッジストライプに沿った部分14aのみを残すようパターニング形成する。

【0128】次に、上記ストライプ状のSiN膜又はSiO₂膜14a、及びその上のフォトレジストをマスクとして用いて、上記不純物拡散源層18aの該マスク14a下以外の露出部分を、例えばCF₄を用いたドライエッチングにより除去することにより、各々4角形状の図示の領域では2つの不純物拡散源膜18c、及びこれをリッジ形成領域においてカバーする上記SiN膜又はSiO₂膜14aを形成することができる。このようにして上記2つの不純物拡散源膜18cを形成した後は、上記その上のSi₃N₄膜又はSiO₂膜14aを、リッジエッチングマスク及び選択成長マスクとしてそのまま残して、リッジエッチングを行い、リッジ8を形成する。

【0129】その後は、 n -GaAs電流ブロック層9の埋め込み成長を行い、さらにその後、上記リッジエッチングマスク、及び選択成長マスクを除去して、第2GaAsコンタクト層5の成長を行うと、該電流ブロック

42

層成長時の500°C以上、約30分間の熱により、上記不純物拡散源層18bからその下の結晶成長層5、4に p 型不純物が拡散し、この p 型不純物の拡散がIn_{0.5}Ga_{0.5}P活性層3に達すると、該In_{0.5}Ga_{0.5}P活性層3がディスオーダーされて、窓構造層15が形成される。この結果、図5(b) に示すような、高出力動作が可能な窓構造を有する、0.67 μm 帯のInGaP/InAlGaP系の半導体レーザを得ることができる。

10 【0130】このような本実施例8の半導体レーザの製造方法では、リッジ導波路構造を有するリッジ埋め込み型の0.67 μm 帯のInGaP/InAlGaP系半導体レーザを製造するにおいて、窓構造となる部分のリッジエッチングマスクの下に不純物拡散源膜となる膜を形成しておき、電流ブロック層成長時の熱により、該不純物拡散源膜から p 型不純物が p -コンタクト層5と p -クラッド層4を経て活性層3に達し、該活性層をディスオーダーするようにしたので、レーザ共振器の端面近傍においてのみ該量子井戸構造よりなる活性層がディスオーダーされてそのバンドギャップエネルギーが大きくなり、レーザの窓構造を構成することができる。従ってこれにより、端面破壊を生ずることなく、高光出力動作の可能な0.67 μm 帯のInGaP/InAlGaP系半導体レーザを得ることができる。しかもこれを簡易な方法で製造でき、かつ高精度に製造することができるものである。

【0131】なお、本実施例8では、活性層3として、異なる2種類の材料からなる層を交互に積層して構成してなる多重量子井戸構造を用いたが、この活性層には、
30 多重量子井戸構造の代わりに、Ga_{0.5}In_{0.5}P等からなる自然超格子構造を用いるようにしてもよいものである。

【0132】実施例9。上記実施例8では、上記不純物拡散源膜6としては、後の工程で、その構成材料の元素が p -GaAs第1コンタクト層5、及び p -(Al_{0.7}Ga_{0.3})In_{0.5}Pクラッド層4中に拡散して各層内で p 型のドーパントとなるような膜を用いた。本発明の第9の実施例は、この不純物拡散源膜6として、
40 後の工程で、該膜中の不純物が該膜下の層に拡散したとき各層内で p 型のドーパントとなるような不純物を含む膜を用いて構成したものである。このような膜の例としては、Zn、Cd、MgがドーパされたAl₂O₃、SiO₂、Si₃N₄、SrO等、SiがドーパされたAl₂O₃等を用いることができる。これらの膜は熱CVD法により形成する。このような本実施例9においても、上記実施例8と同様の効果を得ることができる。

【0133】実施例10。上記実施例9では、上記不純物拡散源膜6として、後の工程で、該膜中の不純物が該膜下の層に拡散したとき各層内で p 型のドーパントとなるような不純物を含む膜、即ち、Zn、Cd、Mgがド
50

(23)

43

ープされた Al_2O_3 、 SiO_2 、 Si_3N_4 、 SrO 等、 Si がドーピングされた Al_2O_3 等を用いて構成したが、本発明の第 10 の実施例は、このような不純物拡散源膜を用いた場合において、該不純物拡散源膜中へのドーピング量を制御することによって、該膜下の層へ拡散する不純物の濃度を制御するようにしたものである。

【0134】即ち、上記実施例 9 では、不純物拡散源膜 6a による不純物の拡散時において、特に不純物濃度についてはこれを規定していなかったが、あまりに多くの不純物の原子を拡散しても、これを活性化できるのでなければ、これらはキャリアとして働かないし、逆に加えて結晶性を劣化させ、かつ、活性化していない不純物が活性層にまで拡散して素子特性に悪影響を及ぼし、素子自体の信頼性にも悪い影響を与えることとなる。例えば、 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上の不純物原子を拡散した場合において、これらを活性化することができなければ、素子自体の信頼性にも悪い影響を与えることとなる。

【0135】そこで、本実施例 10 においては、上記実施例 9 におけるように、拡散すべき不純物で構成されているものではない膜中に、拡散するための不純物をあらかじめドーピングしておいて、これを図 5 における上記不純物拡散源膜 18a としたもののにおいて、さらにこの際の該膜中のドーピング量を制御するようにしたもので、これによって、 $p\text{-GaAs}$ 第 1 コンタクト層 5、 $p\text{-}(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層 4 中への拡散により形成される拡散領域 10 の濃度を制御することができる。たとえば、このような不純物拡散源膜に Zn ドープされた Al_2O_3 を用いることにより、 $p\text{-}(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層 4 へ拡散する不純物の濃度を制御することができるもので、この場合、結晶中に拡散する不純物の量は、 Al_2O_3 中にドーピングされている Zn 濃度に比例することとなり、たとえば、2 重量パーセントの Zn ドープ Al_2O_3 で $1 \sim 3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ になるものである。ここで、不純物拡散源膜への不純物のドーピングの方法は、該不純物拡散源膜を気相成長する際に、該膜を構成する材料の原料ガスにドーピング不純物のガスを所要量含めることにより行う。

【0136】このような本実施例 10 の半導体レーザの製造方法では、拡散すべき不純物で構成されているものではない膜中に、拡散するための不純物をあらかじめドーピングしておき、このドーピング量を制御することによって拡散により形成される領域の濃度を制御するようにしたので、拡散する不純物の濃度を高精度に制御することができる効果がある。

【0137】実施例 11. 上記実施例 8 では、 $n\text{-GaAs}$ 電流ブロック層 9 の結晶成長中の熱により、不純物拡散源膜 6a からの p 型不純物が、 $p\text{-コンタクト層 5}$ と $p\text{-クラッド層 4}$ を経て活性層 3 に達し、該活性層を

44

例は、この不純物拡散源膜 6a からの p 型不純物の下層への拡散を、 $n\text{-GaAs}$ 電流ブロック層 9 の結晶成長中の熱に加えて、該 $n\text{-GaAs}$ 電流ブロック層 9 の成長後の上記 p 型第 2 コンタクト層 11 の結晶成長時の熱により行うようにしたものである。即ち、該 p 型第 2 コンタクト層 11 の結晶成長は、 500°C で、約 1 時間の間行われるが、上記 $n\text{-GaAs}$ 電流ブロック層 9 の 500°C 、約 30 分の熱に加えて、この 500°C 、約 1 時間の熱によってもさらに上記 p 型不純物の上クラッド層 4 中への拡散、即ち、拡散領域 10 の形成を行うようにしたものである。

【0138】このようにした本実施例 11 では、上記実施例 8 において、 $n\text{-GaAs}$ 電流ブロック層 9 の結晶成長中の熱のみでは、不純物拡散源膜 6a からの p 型不純物の上クラッド層 4 を経て活性層 3 まで拡散が届かない場合においても、さらに p 型コンタクト層 5 の成長時の熱により拡散を行うことにより、この拡散を活性層に届くようにし、より確実に活性層のディスオーダー化を行い、窓構造を高精度に形成することができるものである。

【0139】実施例 12. 上記実施例 8、11 では、 $n\text{-GaAs}$ 電流ブロック層 9 の結晶成長中の熱、及びこれに加えて p 型第 2 コンタクト層 11 の結晶成長時の熱により、不純物拡散源膜 16a から第 1 p 型コンタクト層 5 と p 型 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層 4 の途中まで不純物が拡散するようにしたが、本発明の第 12 の実施例は、この不純物拡散源膜 6a からの p 型不純物の下層への拡散を、 $n\text{-GaAs}$ 電流ブロック層 9 の成長、及び p 型第 2 コンタクト層 11 の成長時の熱に加えて、全ての結晶成長が終わった後に、新たに装置をアニール炉に入れて、熱処理（アニール）を行うことにより行うようにしたものであり、例えば、上記結晶成長による熱処理に加えて、さらに 600°C 、約 30 分間のアニールを加えるようにすることができる。

【0140】即ち、このようにした本実施例 12 について図 8 を用いてさらに詳しく説明する。図 8(a) は本実施例 12 によるアニール前の半導体レーザを示し、図において、61 は、上記電流ブロック層 9 の埋め込み成長中に、あるいはさら第 2 コンタクト層 11 の結晶成長中に、 $p\text{-GaAs}$ 第 1 コンタクト層 5 を経て $p\text{-}(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ クラッド層 4 の途中まで拡散して形成された拡散領域であり、これはまだ活性層 3 には達していないものである。

【0141】図 8(b) は上記図 8(a) の半導体レーザを、アニールシドライビング拡散を行うための装置であり、62 は石英管よりなるアニール装置本体、63 は、アニールしようとするウエハ 60 を乗せるポート、64 は、該ポート 63 を出し入れするための引き出し棒である。また、図 8(c) は、アニールした後の上記半導体レーザを示し、本装置においては、図 8(a) の拡散領域 6

(24)

45

1がアニールによりドライブイン拡散されることにより、活性層3に達して拡散領域65が形成されている。
 【0142】本実施例12による半導体レーザの製造方法では、n型GaAs電流ブロック層9の埋め込み成長中、及び、p-GaAs第2コンタクト層11の結晶成長中の熱により不純物拡散源膜6aからその下層のp-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4、p-GaAs第1コンタクト層5への拡散が行われて拡散領域61(図2の10に相当)が形成されるが、すべての結晶成長が終わっても、この拡散領域61は、まだ活性層3には達していない。そして、この状態より、半導体レーザを結晶成長炉より取り出して引き出し棒64、及びボート63を用いてアニール装置本体62に入れ、ここで例えば約30分間にわたってアニールを行うことにより、該半導体レーザにおいて上記拡散領域61からさらにドライブイン拡散を行い、活性層3に達する拡散領域65を形成する。これにより、共振器両端近傍の上記活性層3がディスオーダーされ、窓領域が形成される。

【0143】この場合、上記不純物拡散源膜6aからのp型不純物の下層への拡散が、n-GaAs電流ブロック層9の成長時の熱、及びp型第2コンタクト層11の結晶成長等の熱により行うとともに、この拡散がどのくらい行われたかを、上記全ての結晶成長が終わった後に、該ウエハの一部を割ってその断面からその拡散がどのくらい行われたかを観察し、その拡散の不十分な分だけさらにアニールを行うことにより、所要の深さ、濃度の拡散領域を得るようにすることもできるものである。

【0144】このような本実施例12による半導体レーザの製造方法によれば、半導体レーザを電流ブロック層、及び第2コンタクト層等の結晶成長時の熱によりp型上クラッド層4の途中まで拡散させたのち、新たにアニールを行ってさらにドライブイン拡散させて該拡散が活性層3にまで到達するようにしたので、In_{0.5}Ga_{0.5}Pよりなる多重量子井戸活性層のディスオーダー化による窓領域の形成を、高歩留りにて行うことができる効果がある。

【0145】実施例13. 上記実施例8においては、窓構造に相当する箇所に拡散源となる不純物拡散源膜18cのパターニング形成を、レーザの窓領域形成部に沿ったストライプ状の不純物拡散源膜パターン18aを形成した後、さらにこれをリッジ形成部に沿ったストライプ状の選択成長マスクとなる膜によりパターニングすることにより形成したが、本実施例13は、これをさらに他の方法で形成するものである。

【0146】即ち、本実施例13による半導体レーザの製造方法における不純物拡散源膜18cのパターニング方法を図7を用いて説明する。

【0147】本実施例16では、全面に上記材料よりなる不純物拡散源膜(図6(a)における18)を形成した

46

のち、これを、レーザの窓領域形成部に沿ったストライプ状のホットレジストマスク(図示せず)を用いてパターニングしてストライプ状の不純物拡散源膜18aとし、図7(a)に示す状態(図6(b)と同じ)とする。

【0148】次に、この上にさらにSi₃N₄又はSiO₂膜14を全面に形成し、上記ストライプ状の不純物拡散源膜18a、及び上記全面のSi₃N₄又はSiO₂膜14を、同時にリッジ形成領域に沿ったホットレジストマスク(図示せず)を用いて、ウェットエッチングによりパターニングすることにより、図7(c)に示される2つの各4角形状の不純物拡散源膜18c、及びリッジ形成領域に沿ったストライプ状のSi₃N₄膜又はSiO₂膜14cを得る。

【0149】そして、その後は、上記Si₃N₄膜又はSiO₂膜よりなるマスク14cを除去することなく、これをそのままリッジエッチングマスクとして用いて、上記第1GaAsコンタクト層5及びp型上クラッド層4の一部をエッチングしてリッジ8を形成し、その後、上記マスク14cをそのまま選択成長マスクとしてリッジ側部に電流ブロック層9を埋め込み成長し、その後上記不純物拡散源膜18c及び選択成長マスク14cを除去して、以後は以前の実施例と同様に、第2コンタクト層11その他を形成し、上記実施例8と同様の半導体レーザを完成することができる。ただし、この方法は、上記ストライプ状の不純物拡散源膜18aのリッジ形成領域部分18c以外の部分と、上記Si₃N₄膜又はSiO₂膜14のリッジ形成領域以外の部分の、エッチングによる同時の除去が困難でない場合に適用するのが好ましいものである。

【0150】実施例14. 上記実施例8~13では、不純物拡散源膜からの下層への不純物の拡散をレーザ共振器の全幅にわたって行い、これによりp型不純物濃度が $1 \sim 2 \times 10^{18}$ 以上と高いp型(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4を形成するようにし、また、上記実施例8~13では、不純物拡散源膜からの下層への不純物の拡散をレーザ共振器の端面部分での窓構造を形成すべき部分について行い、これを活性層にまで達させてこれをディスオーダーし、窓構造の形成を行うようにしたが、本実施例14は、このレーザ共振器の全幅にわたってのp型上クラッド層の高不純物濃度化と、レーザ共振器の端面部分での活性層のディスオーダー化による窓構造の形成との両方を行うようにしたものである。

【0151】以下、本実施例14による半導体レーザの製造方法を、図9について説明する。図9において、26は上記p型GaAs第1コンタクト層5の、レーザ共振器の端面部分での窓構造形成領域を除く部分に形成されたSiNからなる拡散スルー膜、27はレーザ共振器の端面部分では直接上記p型GaAs第1コンタクト層5上に形成され、それ以外の部分では上記拡散スルー膜26上に形成されたZnO等よりなる不純物拡散源膜、

(25)

47

28は該不純物拡散源膜27上に形成された選択成長マスクである。なお、本実施例14では、半導体レーザ装置の各層の構成は上記実施例8のそれと同じとする。

【0152】以下本実施例14の半導体レーザの製造方法について説明する。上記p型GaAs第1コンタクト層5を形成する工程までは、上記実施例1の方法と同じであり、その後、該p型GaAs第1コンタクト層5上の全面に、PCVD (Plasma Chemical Vapor Deposition) 法によりそれほど密ではないSiN膜を、200°Cの温度で500または1000オングストロームの厚さに形成し、これを窓構造形成領域にある部分についてはこれを除くようパターニングし、これにより、窓構造形成領域を除いた部分に、SiNからなる拡散スルー膜26を形成する。

【0153】そしてその後、全面に、不純物拡散源膜を150°Cのスパッタ法により1500オングストロームの厚さに形成し、さらにその上に選択成長マスクとして機能するSiNまたはSi₂O₃膜を、これも全面に形成し、その後これらをリッジ形成領域上のレーザ共振器の全幅にわたってのみ残るようパターニングすることにより、上記拡散スルー膜26、不純物拡散源膜27、選択成長マスク28を、リッジ形成領域のみに有する膜を形成する。ここで、上記不純物拡散源膜の例としては、上述の実施例と同様、構成材料の元素自体が不純物となるものとして、ZnO、CdO、MgO等があり、それぞれZn、Cd、Mgが、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4、p-GaAs第1コンタクト層5中に不純物として拡散してp型のドーパントとなる。

【0154】次に、上記拡散スルー膜26、不純物拡散源膜27、選択成長マスク28からなる膜をリッジエッチングマスクとして、リッジエッチングを行うことにより、リッジ形成領域以外の上記p型第1GaAsコンタクト層5、及びp型クラッド層4の一部を除去してリッジを形成し、その後、n型電流ブロック層9の選択成長を行うと、該n型電流ブロック層9の埋め込み結晶成長時の熱により、上記不純物拡散源膜27より上記p型第1GaAsコンタクト層5及びp型クラッド層4へp型不純物が拡散する。

【0155】これにより不純物拡散源膜27中のZn等の構成元素が下層のp型コンタクト層5、及びp型クラッド層5中へ不純物として拡散することとなるが、このとき本実施例14では、窓構造形成領域以外の領域では、不純物拡散源膜27の下にそれほど密ではないSiN膜26を、プラズマCVD法により拡散スルー膜として形成しているので、上記その下層への不純物の拡散は、該拡散スルー膜26により妨げられて該拡散スルー膜26のない上記窓構造形成領域に比し少ない量でもって行われ、その拡散途中では、その断面プロファイルは例えば図9に示される第1の不純物拡散領域10aのよ

48

うになり、またさらに拡散が行われると、図9に示される第2の不純物拡散領域10bのようになり、窓構造形成領域においてのみ不純物の拡散が活性層3に達して該活性層3がディスオーダーされることとなる。ここで、上記不純物拡散源膜27からのp型不純物は、GaAsコンタクト層5をつきぬけてAlGaInPクラッド層4にまで入ればキャリアとして機能するものであり、この窓構造形成領域以外の領域で不純物がp型クラッド層4中のどこまで入るかは、上記プラズマCVD法によるSiNスルー膜26の膜厚の設定によりこれを制御することができる。

【0156】以下は、上記実施例1～5におけると同様、p型第2GaAsコンタクト層11、及び電極12、13の形成を行うことにより、本実施例12の半導体レーザを完成する。このようにして、レーザ共振器端面近傍の窓構造形成領域では、不純物の拡散領域10bが活性層3に達してこれをディスオーダーして窓構造を形成し、それ以外の領域ではp型コンタクト層及びp型クラッド層4中にまで不純物拡散領域10が形成されて、該p型クラッド層4中に不純物濃度の高い拡散領域10を形成することができることとなる。

【0157】このような本実施例14の半導体レーザの製造方法によれば、不純物拡散源膜の形成方法を工夫することにより、上記実施例1～7における、p型不純物濃度の高いp型(A_{10.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層の形成を行うことができるとともに、上記実施例8～13における、レーザ共振器の端面部分での活性層のディスオーダーによる窓構造の形成を行うことができ、p型クラッド層の不純物濃度が高いことにより、該レーザの素子抵抗を大きく低減でき、該半導体レーザの高周波重畳時における大きな特性改善を達成することができることと、窓構造を備えることにより、端面劣化を生ずることなく高光出力動作が可能であるという、という両者の特徴を兼ね備えた半導体レーザを得ることができる効果がある。

【0158】実施例15. 上記実施例14では、このレーザ共振器の全幅にわたってのp型上クラッド層の高不純物濃度化と、レーザ共振器の端面部分での活性層のディスオーダー化による窓構造の形成との両方を行うために、不純物拡散源膜として、リッジ形成領域上の窓構造形成領域を除く部分のみに拡散スルー膜26を有し、リッジ形成領域上のレーザ共振器の全幅にわたって不純物拡散源膜27を有し、かつその上に選択成長マスク28を有するものを形成したが、本実施例15は、上記両者の形成を行うための不純物拡散源膜の構成を、窓構造形成領域では膜厚の厚い、従って不純物量の多い第2の不純物拡散源膜を有し、リッジ形成領域の全体に膜厚の薄い、従って不純物量の少ない第1の不純物拡散源膜を有するものとしたものである。

【0159】以下、本実施例15の半導体レーザの製造

(26)

49

方法について図10を参照して説明する。図10において、30は窓構造を形成すべきレーザ共振器の端面部分において、直接上記p型GaAs第1コンタクト層5上に1000オングストロームの厚みに形成された第2の不純物拡散源膜、31は窓構造を形成すべきレーザ共振器の端面部分を含み、レーザのリッジ形成領域の全体にわたって形成された、500オングストロームの厚みに形成された第1の不純物拡散源膜である。

【0160】次に、本実施例15による半導体レーザの製造方法について説明する。まず、上記実施例1におけると同様に、第1回目の結晶成長により、n-GaAs半導体基板上に、n-(Al_{0.7}Ga_{0.3})In_{0.5}Pクラッド層2、In_{0.5}Ga_{0.5}P活性層3、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})In_{0.5}Pクラッド層4、p-GaAs第1コンタクト層5を結晶成長して、図5(a)に示されるウエハ17を形成する。

【0161】次に、上記ウエハ17上に、リッジ形成領域上の窓構造を形成すべき領域である2箇所に第2の不純物拡散源層を有し、リッジストライプ領域の全体に第1の不純物拡散源膜31を有する不純物拡散源膜を形成する。この不純物拡散源膜のパターニング形成は、第1の不純物拡散源膜と、第2の不純物拡散源膜とが同じ材料からなる場合には、図7とほぼ同様の方法で行うことができる。

【0162】即ちまず、図7(a)に示されるのと同様に、全面に上記材料よりなる第2の不純物拡散源膜を形成したのち、これを、レーザの窓領域形成部に沿ったストライプ状のホトレジストマスクを用いて、上記全面の不純物拡散源膜をパターニングしてストライプ状の第2の不純物拡散源膜30a(18aに相当)を形成する。例えばZnO膜をパターニングするときはフッ酸を用いてエッチングを行うことによりパターニングする。

【0163】しかるのち、この上にさらに図7におけるSi₃N₄又はSiO₂膜14に代えて、第1の不純物拡散源膜31(14に相当)、あるいはさらにSiO₂またはSi₃N₄からなるその後の選択成長のためのマスクを全面に形成して、該第1の不純物拡散源膜31(14)と上記第2の不純物拡散源膜30a(18a)とを、リッジ形成領域に沿ったホトレジストマスク(図示せず)を用いて同時にエッチングすることにより、上記リッジストライプに沿った部分に第1の不純物拡散源膜31(14cに相当)、及び第2の不純物拡散源膜30a(18cに相当)を残すようパターニング形成する。

【0164】このようにして上記第1、第2の不純物拡散源膜31、30aを形成した後は、上記第1の不純物拡散源膜31そのものを、あるいはこれとその上に形成したSi₃N₄膜又はSiO₂膜(図示せず)とをリッジエッチングマスク及び選択成長マスクとしてそのまま残してリッジエッチングを行い、リッジ8を形成する。なお、ここで、上記第1、第2の不純物拡散源膜31、

50

30aを形成した後は、これらを形成するために用いたマスクは除去して、新たにリッジエッチングマスク及び選択成長マスクを形成するようにしてもよいものである。

【0165】その後は、n-GaAs電流ブロック層9の埋め込み成長を行い、さらにその後に、上記リッジエッチングマスク及び選択成長マスクを除去して第2GaAsコンタクト層5の成長を行うと、上記不純物拡散源膜30a、あるいは30a、31中のZn等の構成元素または不純物が、下層のp型コンタクト層5及びp型クラッド層4中へ拡散することとなるが、このとき本実施例15では、窓構造形成領域では、不純物拡散源膜30a、31による膜厚が1500オングストロームと厚く、該窓構造形成領域以外の領域では、不純物拡散源膜31による膜厚が500オングストロームと薄いので、その下層への不純物の拡散は、窓構造形成領域では大きく、それ以外の領域では少なくな行われる。その結果、その拡散プロファイルは、図10に示されるように、図9に示されるものと同様の、不純物拡散領域10a、あるいは不純物拡散領域10bのようになり、これにより、レーザ共振器端面近傍の窓構造形成領域では、該拡散領域が活性層3に達してこれをディスオーダーして窓構造を形成し、それ以外の領域ではp型コンタクト層5、及びp型クラッド層4中にまで不純物拡散領域10が形成されて、該p型クラッド層4中にp型不純物濃度の高い領域を形成することができることとなる。

【0166】このような本実施例15においては、窓構造に相当する領域でリッジ上部に相当する位置である2箇所に膜厚の厚い第2の不純物拡散源層30aを有し、リッジストライプ領域の全体に膜厚の薄い第1の不純物拡散源膜31を有する不純物拡散源膜を形成するようにしたので、上記膜厚の厚い不純物拡散源層30a、31からは不純物が深くまで拡散して活性層3をディスオーダーし、上記膜厚の厚い不純物拡散源層31からは不純物の拡散深さは浅く、上クラッド層4に高濃度拡散領域10を形成するのみとなるので、上記実施例14と同様の構成になる、p型クラッド層の不純物濃度が高いことにより該レーザの素子抵抗を大きく低減でき、該半導体レーザの高周波重畳時における大きな特性改善を達成することができるとともに、窓構造を備えることにより端面劣化を生ずることなく高光出力動作が可能であるという、という両者の特徴を兼ね備えた半導体レーザを得ることができる効果がある。

【0167】実施例16. 上記実施例15では、上記不純物拡散源層のパターニング形成を、図7とほぼ同様の方法で行ったが、本実施例16は、第2の不純物拡散源膜の材料と、第2の不純物拡散源膜の材料とが異なるような場合に、これを図6とほぼ同様の方法で行うようにしたものである。

【0168】以下、本実施例16の方法について説明す

る。即ち、図6に示されたのと同様に、全面に上記材料よりなる不純物拡散源膜18を形成したのち、これを、レーザの窓領域形成部に沿ったストライプ状のホトレジストマスク19を用いて、上記全面の不純物拡散源膜18をパターニングしてストライプ状の第2の不純物拡散源膜18aとする。これには例えばZnOをその構成元素に含む膜を用いる。

【0169】しかるのち、この上にさらに第1の不純物拡散源膜の材料の膜を全面に形成し、これをリッジ形成領域に沿ったホトレジストマスク（図示せず）を用いて
10 上記第2の不純物拡散源膜18aをエッチングしないエッチングを行うことにより、上記ストライプ状の第2の不純物拡散源膜18aを残したまま、該第1の不純物拡散源膜の材料の膜のリッジストライプに沿った部分（14aに相当）のみを残すようパターニング形成する。ここで、該第1の不純物拡散源膜（14a）上には、後の選択成長マスクとなる膜を同時に形成して、これとともに上記第1の不純物拡散源膜をパターニングするようにしてもよい。

【0170】次に、この第1の不純物拡散源膜、あるいはこれはその上に形成したSi₃N₄膜又はSiO₂膜14aをマスクとして用いて、上記不純物拡散源層18aの露出部分を、例えばこれがZnOからなる場合は、例えばCF₄を用いたドライエッチングにより除去することにより、各々4角形状の2つの第2の不純物拡散源膜18c、及びその上のリッジ形成領域にそったストライプ状の第1の不純物拡散源膜14aを形成することができる。

【0171】ここで、上記第2の不純物拡散源膜の材料と、第2の不純物拡散源膜の材料とが異なる場合の例としては、上記第2の不純物拡散源膜にZnOを用い、上記第1の不純物拡散源膜に、CdO、MgO膜、あるいはCd、またはMgをドーパントとして含む膜を用いるものが考えられる。

【0172】このような本実施例16においても、上記実施例15と同様の構成になる不純物拡散源膜を形成することができ、これにより上記実施例14と同様の構成の、p型クラッド層の不純物濃度が高いことにより、該レーザの素子抵抗を大きく低減でき、該半導体レーザの高周波重畳時における大きな特性改善を達成することができるとともに、窓構造を備えることにより、端面劣化を生ずることなく高光出力動作が可能であるという、という両者の特徴を兼ね備えた半導体レーザを得ることができる効果がある。

【0173】実施例17、上記実施例14～16では、不純物拡散源膜26a、あるいは第1、第2の不純物拡散源膜30a、31として、後の工程で、その構成材料の元素がp-GaAs第1コンタクト層5、及びp-
（Al_{0.7}Ga_{0.3}）_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4中に
拡散して各層内でp型のドーパントとなるような膜を用

いた。

【0174】本発明の第17の実施例は、この不純物拡散源膜として、後の工程で、該膜中の不純物が該膜下の層に拡散したとき各層内でp型のドーパントとなるような不純物を含む膜を用いて構成したものである。このような膜の例としては、Zn、Cd、MgがドーパされたAl₂O₃、SiO₂、Si₃N₄、SrO等、SiがドーパされたAl₂O₃等を用いることができ、これは熱CVD法を用いて成膜する。このような本実施例17
10 においても、上記実施例14、15と同様の効果を得ることができる。

【0175】実施例18、上記実施例17では、不純物拡散源膜26a、あるいは第1、第2の不純物拡散源膜30a、31として、後の工程で、該膜中の不純物が該膜下の層に拡散したとき各層内でp型のドーパントとなるような不純物を含む膜、即ち、Zn、Cd、MgがドーパされたAl₂O₃、SiO₂、Si₃N₄、SrO等、SiがドーパされたAl₂O₃等を用いて構成したが、本発明の第18の実施例は、このような不純物拡散源膜を用いた場合において、該不純物拡散源膜中へのドーピング量を制御することによって、該膜下の層へ拡散する不純物の濃度を制御するようにしたものである。

【0176】即ち、上記実施例17では、不純物拡散源膜による不純物の拡散時に、特に不純物濃度についてはこれを規定していなかったが、あまりに多くの不純物の原子を拡散しても、これを活性化することができるのでなければ、これらはキャリアとして働かないし、逆にかえって結晶性を劣化させ、かつ、活性化していない不純物が活性層にまで拡散して素子特性に悪影響を及ぼし、素子自体の信頼性にも悪い影響を与えることとなる。例
30 えば、 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上の不純物原子を拡散した場合において、これらを活性化することができなければ、素子自体の信頼性にも悪い影響を与えることとなる。

【0177】そこで、本実施例18におけるように、拡散すべき不純物で構成されているものではない膜中に、拡散するための不純物をあらかじめドーピングしておいて、これを図9における不純物拡散源膜26a、あるいは図10における不純物拡散源膜30a、31とし、かつ該膜中のドーピング量を制御することによって、上記
40 p-（Al_{0.7}Ga_{0.3}）_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4、p-GaAs第1コンタクト層5中への拡散の濃度を制御するようにすることができる。たとえば、このような不純物拡散源膜にZnドーパされたAl₂O₃を用いると、p-（Al_{0.7}Ga_{0.3}）_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4へ拡散する不純物の濃度を制御することができる。この場合、結晶中に拡散する不純物の量はAl₂O₃中にドーパされているZn濃度に比例することとなり、たとえば、2重量パーセントのZnドーパAl₂O₃で
50 $1 \sim 3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ になるものである。ここで、不純物拡散源膜への不純物のドーピングの方法は、該不純

(28)

53

物拡散源膜を気相成長する際に、該膜を構成する材料の原料ガスにドーピング不純物のガスを所要量含めることにより行う。

【0178】このような本実施例18の製造方法では、拡散すべき不純物で構成されているものではない膜中に、拡散するための不純物をあらかじめドーピングしておき、このドーピング量の制御によって拡散の濃度を制御するようにしたので、拡散する不純物の濃度を高精度に制御することができる効果がある。

【0179】実施例19。上記実施例14～18において挙げた不純物拡散源膜の例のうち、不純物をドーピングした SiO_2 、 Si_3N_4 を用いるときは、これらは電流ブロック層9を再成長により形成する際、その結晶成長に対するマスクとしても機能している。つまり、これら SiO_2 、 Si_3N_4 よりなる不純物拡散源膜上には結晶成長が行われないことを利用し、これらを選択成長マスクとして兼用している。しかるに、任意の膜が必ず結晶成長に対してマスクとして機能するわけではなく、 ZrO 、 ZnO については、これらは選択成長用のマスクとしては機能しない。

【0180】従って、本実施例19では、これらの上に選択成長用のマスクを別途形成することにより、選択成長用のマスクとしての機能を確実に達成できるようにしたものである。

【0181】即ち、本発明の第19の実施例による半導体レーザの製造方法では、図3に示すように、不純物拡散源膜6a上にさらに Si_3N_4 や SiO_2 からなる結晶成長マスク14を熱CVD法により成膜するようにしたものであり、これにより、その後の電流ブロック層9の埋め込み成長を行うときに、リッジ8上には常に結晶成長が行われないようにしたものである。そして、この選択成長マスク膜14は、上記電流ブロック層9の埋め込み成長後にp-第2GaAsコンタクト層11を形成するときは、上記不純物拡散源膜6aとともに沸酸等により除去する。

【0182】このように本実施例19の製造方法では、不純物拡散源膜6a上にさらに Si_3N_4 や SiO_2 からなる結晶成長マスク14を成膜するようにしたので、リッジ8上への結晶成長が確実に行われないようにすることができ、高精度の構造を有する特性のよい半導体レーザを得ることができる効果がある。

【0183】実施例20。上記実施例14では、n-GaAs電流ブロック層9の結晶成長中の熱により、不純物拡散源膜6aから、第1p型コンタクト層5とp型($\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}$)0.5In0.5P上クラッド層4の途中まで不純物が拡散するようにしたが、本発明の第5の実施例は、この不純物拡散源膜6aからのp型不純物の上クラッド層4への拡散を、上記n-GaAs電流ブロック層9の結晶成長中の熱に加えて、該n-GaAs電流ブロック層9の成長後の上記p型第2コンタクト層

54

11の結晶成長時の熱により行うようにしたものであり、これは、該p型第2コンタクト層11の結晶成長時には、 500° 、約1時間の熱が発生するものである。

【0184】このようにした本実施例20では、上記実施例1において、n-GaAs電流ブロック層9の結晶成長中の熱のみでは、不純物拡散源膜6aからのp型不純物の上クラッド層4への拡散が不十分な場合においても、より確実にp型($\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}$)0.5In0.5P上クラッド層4中に所望の濃度の高濃度層を得ることができる効果がある。

【0185】実施例21。上記実施例20では、n-GaAs電流ブロック層9の結晶成長中の熱、あるいはp型第2コンタクト層11の結晶成長時により、不純物拡散源膜から第1p型コンタクト層5とp型($\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}$)0.5In0.5Pクラッド層4の途中まで不純物が拡散するようにしたが、本発明の第6の実施例は、この不純物拡散源膜6aからのp型不純物の下層への拡散を、n-GaAs電流ブロック層9の成長、p型第2コンタクト層11の成長等、全ての結晶成長が終わった後に、新たに装置をアニール炉に入れて、熱処理(アニール)を行うことにより行うようにしたものであり、例えば 600°C 以上の温度で約30分間の間アニールを行うようにすることができる。

【0186】またこの際、上記不純物拡散源膜からのp型不純物の下層への拡散は、n-GaAs電流ブロック層9の成長時の熱、あるいはp型第2コンタクト層11の結晶成長時の熱によっても行われているから、上記全ての結晶成長が終わった後に、該ウエハの一部を割ってその断面からその拡散がどのくらい行われたかを観察し、その拡散の不十分な分だけさらにアニールを行うことにより、所要の深さ、濃度の拡散領域を得るようにしてもよいものである。

【0187】このようにした本実施例21においては、上記実施例14、19において、n-GaAs電流ブロック層9の結晶成長中の熱、あるいはさらにp型第2コンタクト層11の結晶成長時の熱のみでは、不純物拡散源膜からのp型不純物の上クラッド層4への拡散が不十分な場合においても、より確実にp型($\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}$)0.5In0.5P上クラッド層4中に所望の濃度の高濃度層を得ることができる効果がある。

【0188】

【発明の効果】以上のように、この発明にかかる半導体レーザの製造方法によれば、リッジエッチングマスクとして不純物拡散源を兼ねる膜を設け、電流ブロック層の結晶成長中、さらにはその後の熱処理により、該リッジマスク膜から上クラッド層へ不純物が拡散するようにしたので、p-InGaAsPクラッド層のキャリア濃度を $1\sim 2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ の高濃度にまで大きくすることができ、これによりその素子抵抗を大きく低減することができ、高周波重畳時の特性を大きく改善することがで

(29)

55

き、しかもこれを簡易な方法で得ることができる効果がある。

【0189】またこの発明によれば、上記半導体レーザの製造方法において、不純物の拡散源となる膜の上に、さらにSi₃N₄膜あるいはSiO₂膜よりなる選択成長マスクを形成するようにしたので、不純物の拡散源となる膜上には、電流ブロック層の成長が決して起こらないようにすることができる効果がある。

【0190】また、この発明にかかる半導体レーザの製造方法によれば、量子井戸構造で構成される活性層を有する半導体レーザを製造するにおいて、上記量子井戸が拡散によりディソルダされるようにしたため、拡散された箇所は実効的なバンドギャップが大きくなり、窓構造として機能することとなり、高出力動作が可能な窓構造を有する半導体レーザを得ることができ、しかもこれを簡易な方法で得ることができる効果がある。

【0191】また、この発明にかかる半導体レーザの製造方法によれば、リッジエッチングマスクとして不純物拡散源層を兼ねる膜を設け、電流ブロック層の結晶成長中、さらにはその後の熱処理により、該リッジマスク膜からクラッド層へ不純物が拡散するとともに、量子井戸構造活性層のレーザ共振器端面部が上記膜からの不純物の拡散によりディソルダされるようにしたので、p-InGaAsPクラッド層のキャリア濃度を高濃度に高めてその素子抵抗を大きく低減でき、高周波重畳時の特性を大きく改善することができるとともに、上記量子井戸を拡散によりディソルダした部分が窓構造として機能することとなり、高出力動作が可能な窓構造を有する半導体レーザを得ることができ、しかもこれを簡易な方法で得ることができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例による半導体レーザの製造方法により作製される半導体レーザの構造を示す斜視図。

【図2】本発明の第1の実施例による半導体レーザの製造方法の製造工程を示す図。

【図3】本発明の第4の実施例による半導体レーザの製造方法の製造工程の一部を示す図。

【図4】本発明の第8の実施例による半導体レーザの製造方法により製造される窓構造を有する半導体レーザを示す図。

【図5】本発明の第8の実施例による窓構造を有する半導体レーザの製造方法の製造工程の一部を示す図。

【図6】本発明の第8の実施例による半導体レーザの製造方法における不純物拡散源膜のパターニングの工程を示す図。

【図7】本発明の第13の実施例による半導体レーザの製造方法における不純物拡散源膜のパターニングの工程を示す図。

【図8】本発明の第12の実施例による半導体レーザの

56

製造方法におけるアニールの前後、及びアニール装置を示す図。

【図9】本発明の第14の実施例による半導体レーザの製造方法における製造工程の一部を示す図である。

【図10】本発明の第15の実施例による半導体レーザの製造方法における製造工程の一部を示す図である。

【図11】従来の0.67μm帯の半導体レーザの構造図。

【図12】従来の0.67μm帯の半導体レーザの製造方法を説明するための製造工程図。

【図13】従来の問題点を説明するために本発明者が行った実験の結果による、■族原料ガス流量に対するDMZn流量の比、に対するキャリア濃度の値を示す図。

【図14】横モード安定化されたInGaAlPレーザの代表的な構成を示す図である。

【図15】文献(1)に示されるInGaAlP活性層とIn_{0.5}(Ga_{0.3}Al_{0.7})_{0.5}Pクラッド層の場合のdとhの関数としてのΔN_{eff}の計算例を示す図である。

【図16】横モード安定化InGaAlPレーザの他の構造を示す図。

【図17】HBBレーザの電流閉じ込め機構の原理、及び構造を示す図である。

【図18】発振閾値でのInGaAlPダブルヘテロ構造レーザの概略的なバンドダイアグラムを示す図である。

【図19】InGaAlP-In_{0.5}(Ga_{0.3}Al_{0.7})_{0.5}Pダブルヘテロ構造の閾値電流密度の温度依存性の計算例を示す図である。

【図20】ホールの濃度 $4 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ をもつIn_{0.5}(Ga_{0.3}Al_{0.7})_{0.5}Pクラッド層をもつレーザダイオードの実験データ、に対応するカーブを示す図である。

【図21】InGaAlPレーザの連続波動作での発振波長と最大温度との間の関係を示す実験結果を示す図である。

【図22】アクセプタ濃度に対しプロットされた650nmの波長のSBRレーザの特性温度を示す図である。

【図23】ヒートシンク温度50℃でのコートされていない650nmのレーザについてのエージングテストの結果の例を示す図である。

【図24】この630nm帯のSBRレーザの光出力対電流特性を示す図である。

【図25】630nm帯のHBBレーザの光出力対電流特性を示す図である。

【図26】図17および後に示される他の図のための計算において使用される材料パラメータをリストとして示す図である。

【図27】自然超格子の無秩序化を利用して作製された、従来の窓構造付きAlGaInP系半導体レーザの

(30)

57

共振器長方向に沿った断面を示す模式図である。

【図28】自然超格子の無秩序化を利用して作製された、従来の他の窓構造付きAlGaInP系半導体レーザの共振器長方向に沿った断面を示す模式図である。

【図29】図27に示す窓構造付きAlGaInP系半導体レーザの製造方法を説明するための断面工程図である。

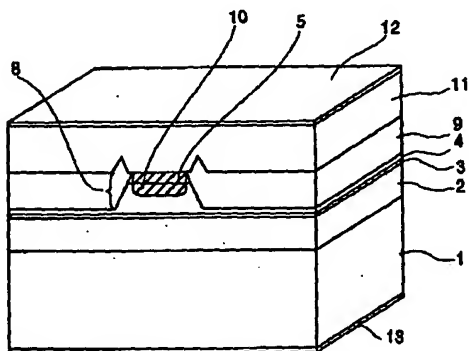
【図30】図28に示す窓構造付きAlGaInP系半導体レーザの製造方法を説明するための断面工程図である。

【図31】本発明の実施例7の半導体レーザの製造方法により製造される半導体レーザの多重量子井戸構造の活性層を示す図である。

【符号の説明】

- 1 n-GaAs 半導体基板
- 2 n-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P クラッド層
- 3 In_{0.5}Ga_{0.5}P 活性層
- 4 p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P クラッド層
- 5 p-GaAs 第1コンタクト層
- 6 不純物拡散源膜
- 6a ストライプ状の不純物拡散源膜
- 8 リッジ領域
- 9 n-GaAs 電流ブロック層

【図1】

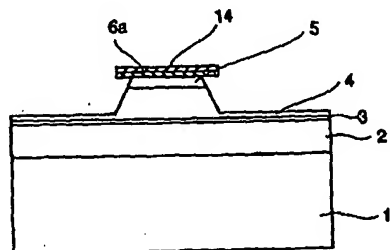


- 1: n-GaAs 半導体基板
- 2: n-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P クラッド層
- 3: In_{0.5}Ga_{0.5}P 活性層
- 4: p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P クラッド層
- 5: p-GaAs 第1コンタクト層
- 6: リッジ領域
- 9: n-GaAs 電流ブロック層
- 10: 不純物拡散領域
- 11: p-GaAs 第2コンタクト層
- 12: p-電極
- 13: n-電極

58

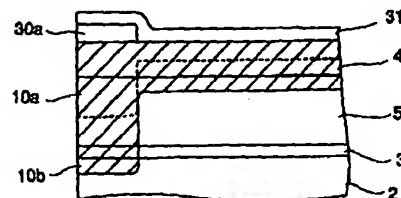
- 10 不純物拡散領域
- 11 p-GaAs 第2コンタクト層
- 12 p側電極
- 13 n側電極
- 14 リッジマスク (兼選択成長マスク)
- 15 不純物拡散によりディスオーダーされたIn_{0.5}Ga_{0.5} 活性層
- 16 半導体レーザチップ
- 17 ウエハ
- 18c 全面の不純物拡散源膜
- 18a 窓構造に相当する箇所に形成された不純物拡散源膜
- 18c 窓構造に相当する箇所でリッジ形成領域に相当する位置に形成された不純物拡散源膜
- 14c 結晶成長マスク
- 16d ZnドーパされたAl₂O₃よりなる不純物拡散源膜
- 61 活性層3には達していない拡散領域
- 62 石英管よりなるアニール装置本体
- 63 アニールしようとするウエハ60を乗せるポート
- 64 ポート63を出し入れするための引き出し棒
- 65 ドライブイン拡散により活性層3に達した拡散領域

【図3】



14: リッジマスク

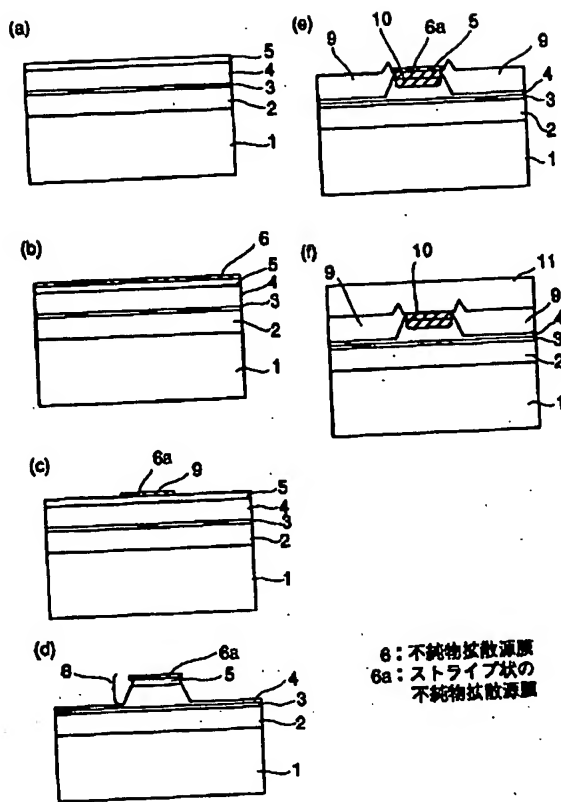
【図10】



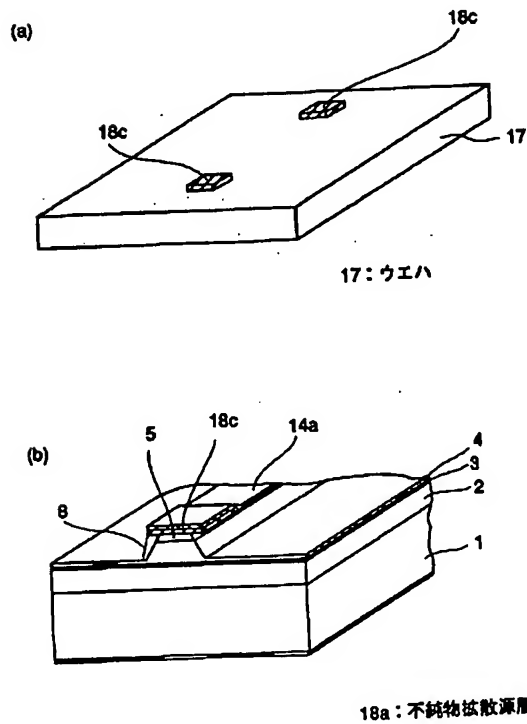
30: 第1の不純物拡散源膜
31: 第2の不純物拡散源膜

(31)

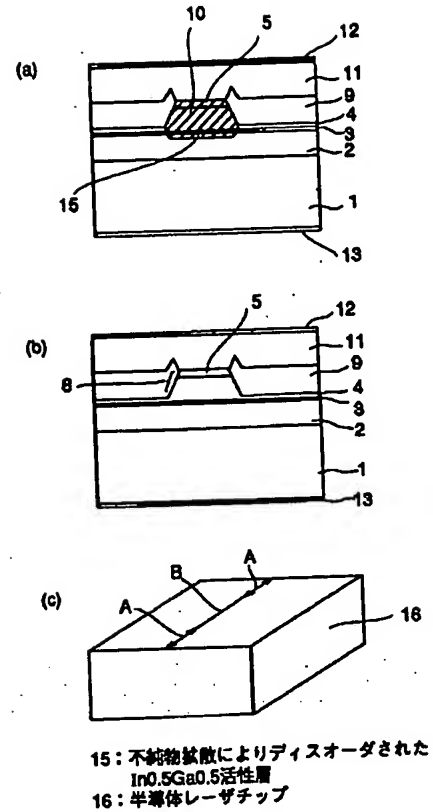
【図2】



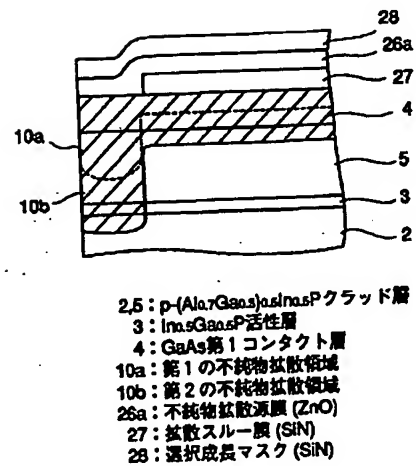
【図5】



【図4】

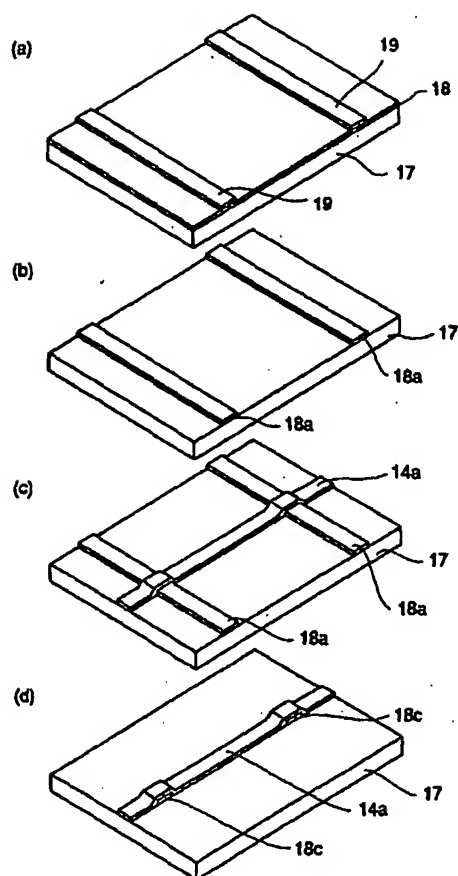


【図9】

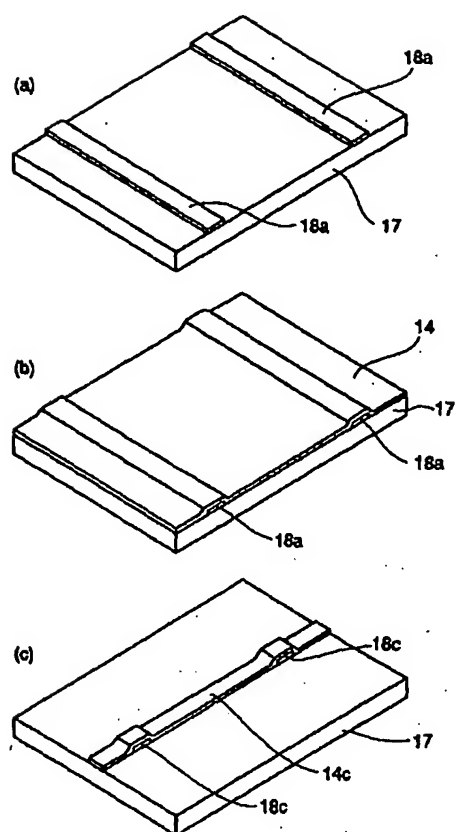


(32)

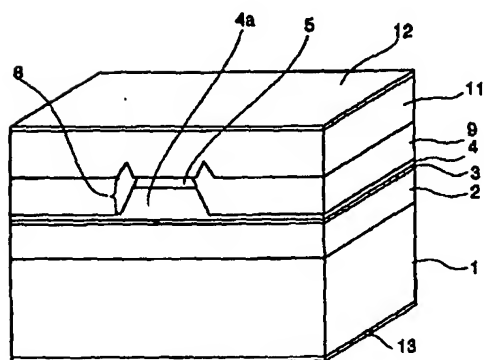
【図6】



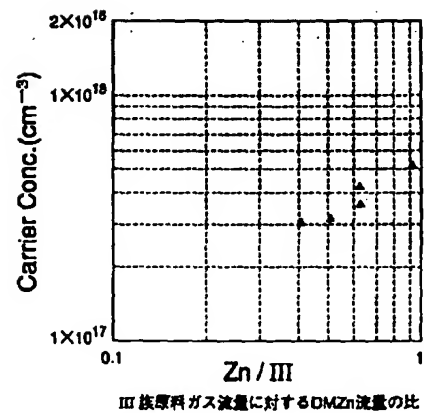
【図7】



【図11】

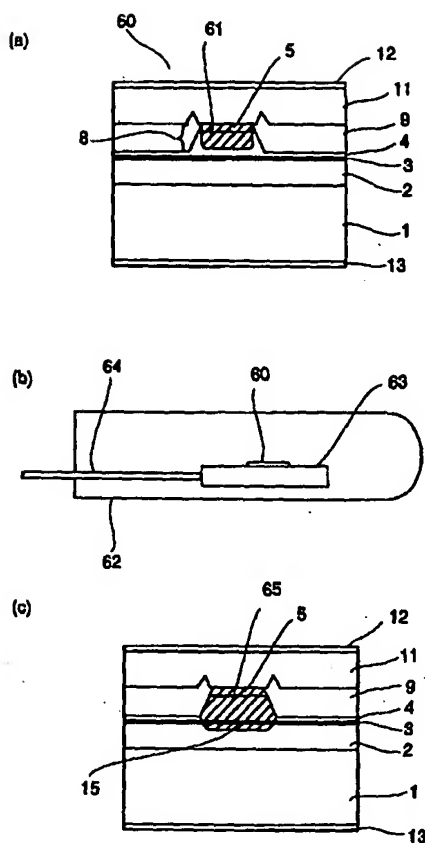


【図13】

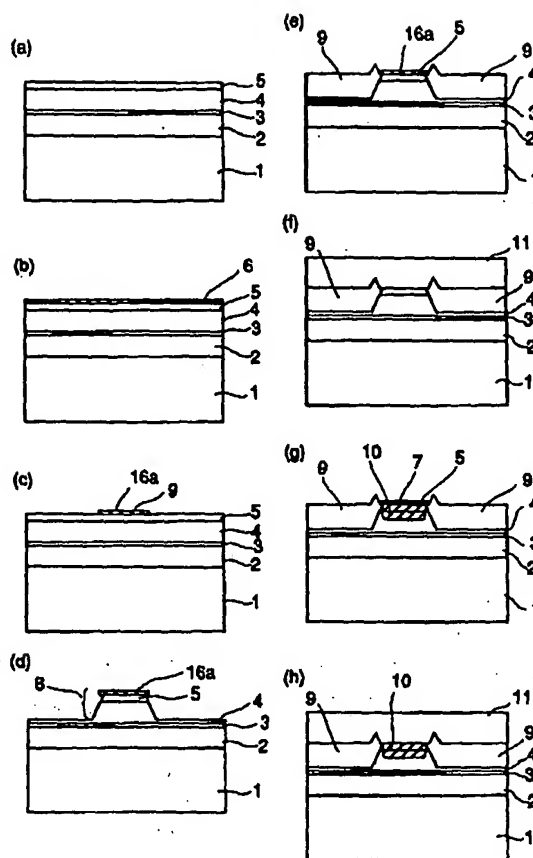


(33)

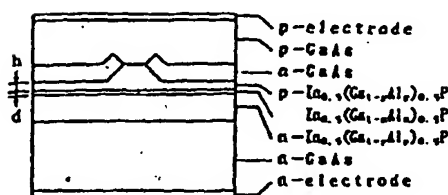
【図8】



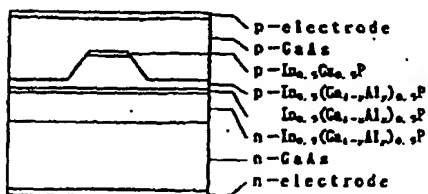
【図12】



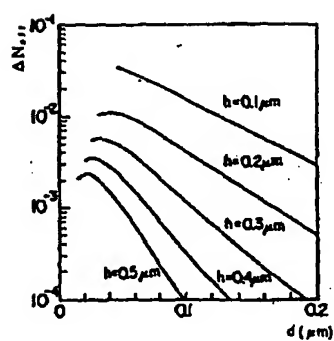
【図14】



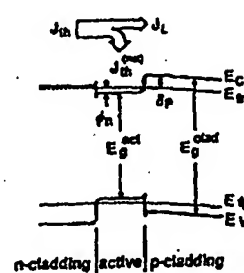
【図16】



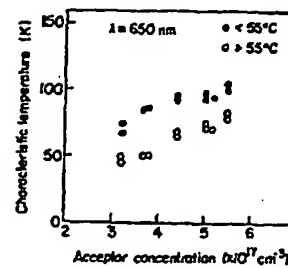
【図15】



【図18】

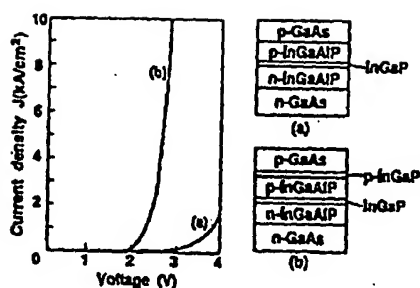


【図22】

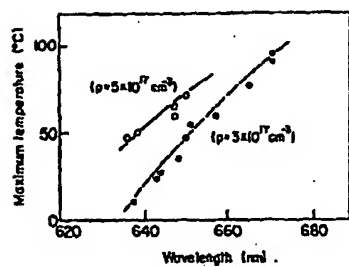


(34)

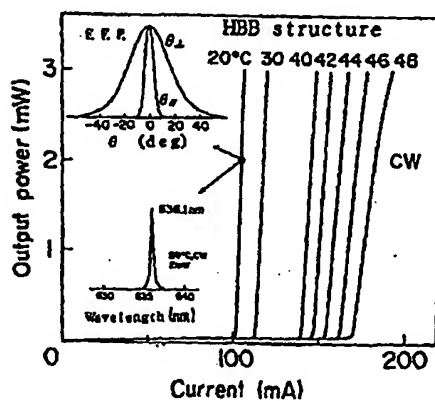
【図17】



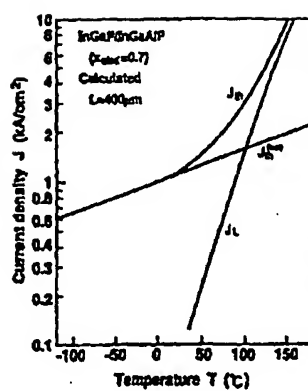
【図21】



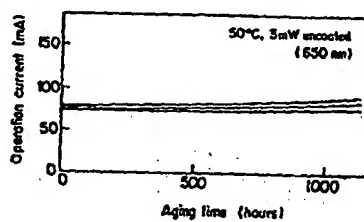
【図25】



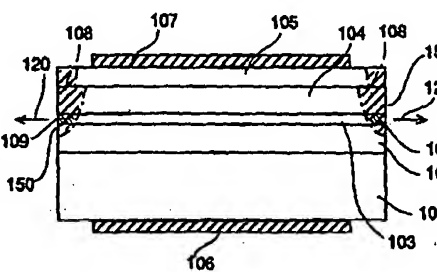
【図19】



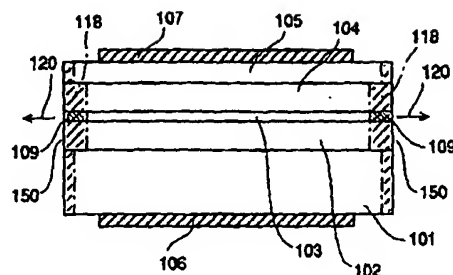
【図23】



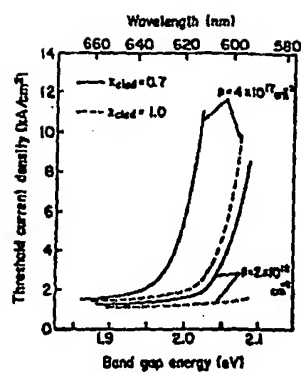
【図27】



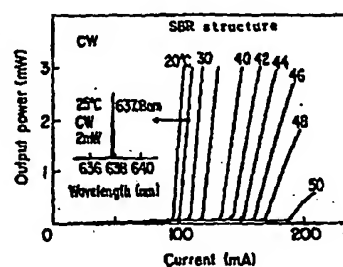
【図28】



【図20】



【図24】



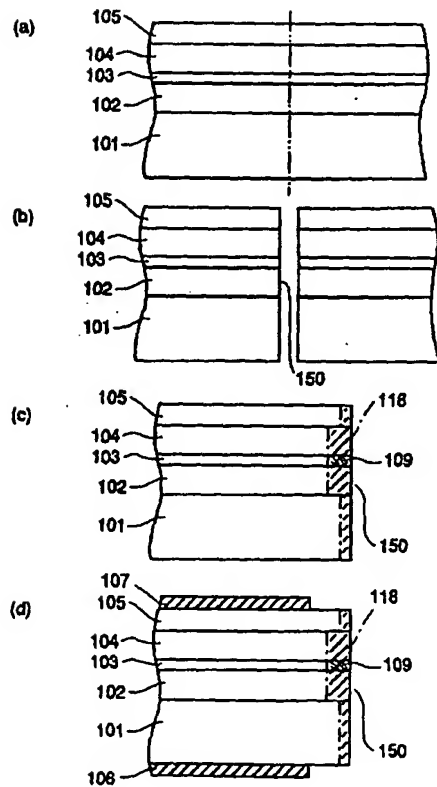
(35)

【図26】

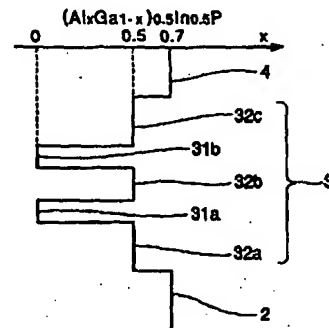
MATERIAL PARAMETERS FOR $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)_{0.5}\text{P}$ USED IN THE
CALCULATION

Parameter	Value
Refractive index	$n_r = 3.65 - 0.37x$
Dielectric constant	$\epsilon = (12.0 - 2.0x)\epsilon_0$
Bandgap	$E_{gT} = 1.90 + 0.6x$ (eV) $E_{gX} = 2.25 + 0.1x$ (eV)
Band offset (relative to GaAs)	$\Delta E_{CT} = 0.19 + 0.27x$ (eV) $\Delta E_V = 0.30 + 0.32x$ (eV)
Effective mass	$m_{eT} = 0.099 m_0$ $m_{eX} = 0.35 m_0$ $m_h = (0.62 + 0.05x) m_0$
Nonradiative recombination lifetime	$\tau_n, \tau_p = 9$ (ns) (active layer) $\tau_n, \tau_p = 1$ (ns) (cladding layer)
Gain coefficient ($g = g_0 + g_{np}np$)	$g_0 = -100$ (cm^{-1}) $g_{np} = 1.4 \times 10^{-33}$ (cm^3)

【図30】

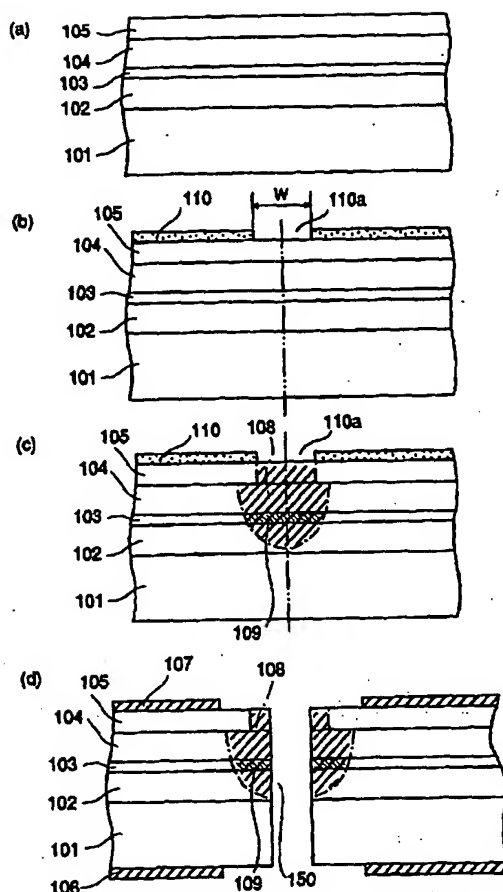


【図31】



(36)

【図29】



【手続補正書】

【提出日】平成6年12月13日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正内容】

【0025】図11は、上記文献(1)に記載されたものと同様の従来の $0.67\mu\text{m}$ 帯のInGaP/InAlGaP系の半導体レーザの概観図を示し、図12は該半導体レーザの製造工程を示す断面図である。図11において、1はn-GaAs半導体基板（不純物濃度は $1\sim 3\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、厚みは $95\mu\text{m}$ ）である。該n-GaAs半導体基板1上には、n-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層2（不純物濃度は $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、膜厚は $1.5\mu\text{m}$ ）が配置される。該n-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層2上には、アンドープのIn_{0.5}Ga_{0.5}P活性層3（膜厚は $0.07\mu\text{m}$ ）が配置される。該In_{0.5}Ga_{0.5}P活性層3上

には、p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P上クラッド層4（不純物濃度は $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、不純物はZn又はSi、膜厚は $0.25\mu\text{m}$ ）が配置される。該p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4のリッジ部（リッジ底部の幅は $5.5\mu\text{m}$ 、リッジ上部の幅は $3.0\mu\text{m}$ ）4a上の部分には、p-GaAs第1コンタクト層5（不純物濃度は $2\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 、膜厚は $0.4\mu\text{m}$ ）が配置される。該p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}Pクラッド層4の薄膜部4b上には、n-GaAs電流ブロック層9（不純物濃度は $6\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、膜厚は $1\mu\text{m}$ ）が配置される。上記p-GaAs第1コンタクト層5上、及び上記n-GaAs電流ブロック層9上には、p-GaAs第2コンタクト層11（不純物濃度は $2\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 、膜厚は $2.5\mu\text{m}$ ）が配置される。また、上記p-GaAs第2コンタクト層11上には、Ti/Pt/Auよりなるp側電極12が配置され、p-GaAs半導体基板1側には、AuGe/Ni/Ti/Auよりなるn側電極13が配置され

(37)

る。本レーザの電極を除いた部分の高さは $100\mu\text{m}$ である。

【手続補正2】

【補正対象 類名】明細書

【補正対象項目名】0104

【補正方法】変更

【補正内容】

【0104】このように本実施例1の半導体レーザの製造方法では、リッジ導波路構造を有するリッジ埋め込み型半導体レーザを製造する方法において、リッジマスク、即ちリッジエッチングのためのマスクを不純物拡散

源となるような膜で構成し、これを用いてリッジエッチングを行った後、電流ブロック層の埋め込み成長時の熱により、該不純物拡散源膜からp-コンタクト層とp-クラッド層の途中まで不純物を拡散させるようにしたので、該不純物がその下層の結晶層中でp型のドーパントとして働くことによって、p-クラッド層のキャリア濃度を実効的に増加させることとなり、これにより該レーザの素子抵抗を大きく低減することができる。従って、これにより $0.67\mu\text{m}$ 帯 AlGaInP 系半導体レーザの高周波重畳時における大きな特性改善を達成することができる効果がある。